



**Aus der  
Tierärztlichen Ambulanz Schwarzenbek  
im Fachbereich Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin  
Universitäts-Professor Dr. G. v. Mickwitz**

---



## **Studie**

**zum Verhalten von Schlachtschweinen  
nach einer Elektrobetäubung  
(Reaktionsprüfungen am Auge sowie  
an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand)  
mit besonderer Berücksichtigung der  
Elektrodenposition, Stun-Stick-Time und  
der verwendeten Stromformen**

**INAUGURAL - DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades  
eines Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von  
Andreas Briese  
Tierarzt aus Heidelberg**

**Berlin 1996  
Journal-Nr.: 2000**

Gedruckt mit Genehmigung  
des Fachbereiches Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan:

Univ.-Prof. Dr. K. Hartung

Erster Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. G. v. Mickwitz

Zweiter Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. G. Hildebrandt

Tag der Promotion:

14. November 1996

**Im Gedenken meinem Großvater**

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>2 SCHRIFTTUM</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Begriffsdefinitionen</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Gesetzliche Vorgaben für die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3 Die elektrische Betäubung von Schlachttieren</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Begriffsbestimmung für die Anfallserscheinungen infolge der elektrischen Durchströmung des Gehirnes .....	14
2.3.2 Die Entwicklung des Elektrobetäubungsverfahrens .....	18
2.3.3 Die Wirkung elektrischen Stromes auf das Gehirn .....	19
2.3.3.1 Elektroanästhesie und Elektronarkose: Die Stromwirkung am Gehirn ohne Auslösung von generalisierten cerebralen Anfallserscheinungen (GCA) .....	19
2.3.3.2 Elektrobetäubung: Die Auslösung von generalisierten cerebralen Anfällen (GCA) mittels elektrischer Kopfdurchströmung .....	22
2.3.4 Symptomatik der generalisierten cerebralen Anfälle (GCA) .....	23
2.3.4.1 Bewußtlosigkeit beim Menschen infolge elektrischen Stromes .....	23
2.3.4.2 Die Symptomatik elektrisch ausgelöster GCA beim Schlachttier .....	23
2.3.4.3 Oberflächen-Elektroencephalogramme (O-EEG) und Electrocorticogramme (ECoG) im Zusammenhang mit der Elektrobetäubung .....	25
2.3.4.3.1 Kriterien zur Interpretation von Gehirnstromaufzeichnungen .....	27
2.3.4.4 Effektivität und Dauer elektrischer Betäubung .....	28
2.3.4.5 Die Dauer des generalisierten cerebralen Anfalls (GCA) .....	31
2.3.5 Untersuchungen zur Ausschüttung von Neurotransmittern und Hormonen bei der Elektrobetäubung .....	38
2.3.6 Die Wirkung der elektrischen Betäubung auf den Blutkreislauf .....	40
2.3.7 Der Einfluß der Entblutung .....	43
<b>2.4 Praktische Aspekte der Durchführung der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen</b> .....	<b>46</b>
2.4.1 Fixierung zur Betäubung .....	46
2.4.2 Kopfdurchströmung zur Auslösung der Betäubung .....	48
2.4.2.1 Einfluß der Ansatzstellen der Kopfelektroden .....	48
2.4.2.2 Überwindung des Hautwiderstandes am Elektrodenkontakt .....	50
2.4.2.3 Elektrodenform, Elektrodenhalter und Andruck .....	52
2.4.2.4 Stromstärke und Durchströmungsdauer .....	53
2.4.2.5 Stromfrequenz und Stromform .....	55
2.4.3 Dauer der Betäubung und Zeitpunkt der Entblutung .....	59
2.4.4 Kombinierte Hirn-Herz-Durchströmung .....	60
2.4.4.1 Felduntersuchungen zur asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung bei Schlachtschweinen .....	63
2.4.4.2 Einfluß des Kammerflimmerns auf die Ausblutung .....	64
<b>2.5 Kriterien zur Bewertung und Überprüfung von Betäubungsverfahren bei der Schlachtung von Schweinen</b> .....	<b>67</b>
2.5.1 Praxisnahe Verfahren zur Überprüfung der Effektivität der Schlachtschweinebetäubung in der Literatur .....	68
2.5.1.1 Neurologische Untersuchungsverfahren bei der Elektrobetäubung .....	71
2.5.1.2 Technische Überwachung der Betäubungsanlagen .....	73

<b>3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>74</b>
<b>3.1 Zielsetzung .....</b>	<b>74</b>
<b>3.2 Material und Methoden .....</b>	<b>74</b>
3.2.1 Untersuchungsgut .....	74
3.2.2 Vorgehen bei der Untersuchung .....	76
3.2.3 Überprüfung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe .....	76
3.2.3.1 Untersuchungsgang am betäubten Tier .....	76
3.2.3.2 Anatomische Gegebenheiten an der Rüsselscheibe des Schweines .....	77
3.2.4 Weitere Reaktionsprüfungen .....	79
3.2.5 Auswertung der Stromaufzeichnung mittels EDV und der Videoaufzeichnung im Rahmen der Untersuchungen an Betrieb 1 .....	79
3.2.6 Verwendete Computerprogramme .....	80
3.2.7 Verwendete Betäubungsanlagen .....	81
<b>3.3 Überblick über die durchgeführten Untersuchungen an den einzelnen Betrieben .....</b>	<b>82</b>
<b>3.4 Evaluierung verschiedener Methoden zur Überprüfung der Betäubung in Betrieb 1 ..</b>	<b>84</b>
3.4.1 Rahmenbedingungen der Betäubung .....	84
3.4.2 Parameter der Betäubung in den Untersuchungen U1-U3 .....	85
3.4.3 Untersuchung U1: Stromverlauf, Videoaufzeichnung und Reaktionen während der Entblutung .....	85
3.4.3.1 EDV-Auswertung in Bezug auf Videoaufzeichnung und Reaktionsprüfungen (Tab. 8) .....	87
3.4.3.2 Reaktionsprüfungen in Bezug auf die EDV- und Videoauswertung .....	87
3.4.3.3 Ergebnis der statistischen Auswertung der erhobenen Daten .....	88
3.4.4 Untersuchung U2: Reaktionen an der Rüsselscheibe und Auge (Tab. 10) .....	89
3.4.5 Untersuchung U3: Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe zu verschiedenen Zeitpunkten nach Betäubungsbeginn (Tab. 11) .....	89
3.4.6 Untersuchung U4: Reaktion auf Traumata an der Rüsselscheibe zu verschiedenen Zeitpunkten nach Beginn der Betäubung mit 300Hz Rechteck-Wechselstrom .....	90
.....	90
3.4.6.1 Parameter der Betäubung bei Untersuchung U4 .....	90
3.4.6.2 Reaktionen während der Entblutung (Tab. 12) .....	91
<b>3.5 Ergebnisse der Untersuchungen an elf Schlachtbetrieben .....</b>	<b>92</b>
3.5.1 Betrieb 2 .....	92
3.5.1.1 Begleitumstände der Betäubung .....	92
3.5.1.2 Reaktionen während der Entblutung .....	92
3.5.2 Betrieb 3 .....	94
3.5.2.1 Begleitumstände der Betäubung .....	94
3.5.2.2 Reaktionen während der Entblutung .....	94
3.5.3 Betrieb 4 .....	96
3.5.3.1 Begleitumstände der Betäubung .....	96
3.5.3.2 Reaktionen während der Entblutung .....	96
3.5.5 Betrieb 5 .....	98
3.5.5.1 Begleitumstände der Betäubung .....	98
3.5.5.2 Reaktionen während der Entblutung .....	98
3.5.5 Betrieb 6 .....	100
3.5.5.1 Begleitumstände der Betäubung .....	100
3.5.5.2 Reaktionen während der Entblutung .....	100
3.5.6 Betrieb 7 .....	102
3.5.6.1 Begleitumstände der Betäubung .....	102
3.5.6.2 Reaktionen während der Entblutung .....	102
3.5.7 Betrieb 8 .....	104
3.5.7.1 Begleitumstände der Betäubung .....	104
3.5.7.2 Reaktionen während der Entblutung .....	104

3.5.8 Betrieb 9 .....	106
3.5.8.1 Begleitumstände der Betäubung .....	106
3.5.8.2 Reaktionen während der Entblutung .....	106
3.5.9 Betrieb 10 .....	108
3.5.9.1 Begleitumstände der Betäubung .....	108
3.5.9.2 Untersuchung U1 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit einem Transformator; 300V_7s Kopf-, 300V_2,5s Herzdurchströmung .....	108
3.5.9.3 Untersuchung U2 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit zwei Transformatoren: 300V_2s Kopf-, 220V_4s Herzdurchströmung .....	110
3.5.9.4 Untersuchung U3 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit zwei Transformatoren: 300V_4s Kopf-, 220V_3s Herzdurchströmung .....	112
3.5.10 Betrieb 11 .....	114
3.5.10.1 Begleitumstände der Betäubung .....	114
3.5.10.2 Reaktionen während der Entblutung .....	114
3.5.11 Betrieb 12 .....	116
3.5.11.1 Begleitumstände der Betäubung .....	116
3.5.11.2 Untersuchung U1 in Betrieb 12: Reaktionen während der Entblutung FUHRMANN-Gerät 425 Hz Rechteckstrom .....	116
3.5.11.3 Untersuchung U2 in Betrieb 12: Reaktionen während der Entblutung RENNER-Gerät mit 500 Hz Rechteckstrom .....	118
<b>3.6 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse .....</b>	<b>120</b>
<b>4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>124</b>
<b>4.1 Tierschutzgerechte elektrische Betäubung .....</b>	<b>124</b>
<b>4.2 Die Überprüfung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe während der Entblutung .....</b>	<b>126</b>
4.2.1 Reflex- und Reaktionsprüfungen bei der Elektrobetäubung .....	126
4.2.2 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe .....	128
4.2.2.1 Betriebe mit alleiniger Kopfdurchströmung .....	128
4.2.2.2 Betriebe mit Hirn-Herz-Durchströmung .....	131
4.2.2.2.1 Betriebe mit Hirn-Herz-Durchströmung bei Verwendung hoher Frequenzen .....	133
4.2.3 Die Reaktion an der Rüsselscheibe und Reflexe am Auge .....	137
4.2.4 Bewertung der Betäubungstiefe bei Narkoseüberwachung und Elektrobetäubung .....	140
4.2.5 Einordnung der Bedeutung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe in Bezug auf den Verlauf des generalisierten cerebralen Anfalls und die Bewertung der Effektivität der elektrischen Betäubung .....	144
<b>4.3 Weitere Ergebnisse .....</b>	<b>147</b>
4.3.1 EDV-gestützte Stromstärkemessung während der Betäubung .....	147
4.3.1.1 Aussagekraft der Überwachung der Betäubung mittels Aufzeichnung des Betäubungsstromes .	147
4.3.1.2 Einordnung der Ergebnisse der Stromverlaufsmessungen an Betrieb 1 .....	149
4.3.1.3 Die Ergebnisse der EDV-Auswertung in Bezug auf den Schlachtverlauf .....	151
4.3.2 Einzeltierbezogene Auswertung des Elektrodenansatzes, des Betäubungsstromverlaufes und der Reaktionen während der Entblutung .....	153
4.3.2.1 Exzitationen während der Entblutung .....	155
4.3.3 Vergleichende Betrachtung der Begleitumstände der Betäubung .....	157
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>161</b>
<b>6 SUMMARY .....</b>	<b>164</b>
<b>7 SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS .....</b>	<b>166</b>



## **ABKÜRZUNGEN**

<b>Abb.</b>	<b>Abbildung</b>
<b>AC</b>	<b>Wechselstrom</b>
<b>CR (pos. / neg.)</b>	<b>Corneal- oder Lidreflex</b>
<b>DC</b>	<b>Gleichstrom</b>
<b>ECoG</b>	<b>Elektrocorticogramm</b>
<b>EEG</b>	<b>Elektroencephalogramm</b>
<b>FLGH</b>	<b>Fleischhygiene-Gesetz</b>
<b>GCA</b>	<b>Generalisierter cerebraler Anfall (Def. s. Kap. 2.3.1, S. 6 ff)</b>
<b>K.</b>	<b>Kalb</b>
<b>Max</b>	<b>Maximum</b>
<b>Min</b>	<b>Minimum</b>
<b>MW</b>	<b>Mittelwert</b>
<b>Rd.</b>	<b>Rind</b>
<b>RS (pos. / neg.)</b>	<b>Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe</b>
<b>±SD</b>	<b>± Standardabweichung</b>
<b>Sf.</b>	<b>Schaf</b>
<b>Sw.</b>	<b>Schwein</b>
<b>Tab.</b>	<b>Tabelle</b>
<b>TierSchlV</b>	<b>„Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung“</b>
<b>TierschG</b>	<b>Tierschutz-Gesetz</b>
<b>WA (pos. / neg.)</b>	<b>„Weites, starres Auge“; Pupillendilatation</b>
<b>Zg.</b>	<b>Ziege</b>

# 1 EINLEITUNG

Die Festlegung von Regeln für den Umgang mit Tieren und Verbote bestimmter Handlungen am Tier wurde bis in das beginnende zwanzigste Jahrhundert mit Rechten des Menschen begründet: Dem Schutz vor Gefahren für den Menschen, der Vermeidung öffentlichen Ärgernisses und der Verletzung des sittlichen und ästhetischen Empfindens der Gemeinschaft (BIALLAS (1921)). Die Anerkennung der Empfindung von Schmerzen und der individuellen Leidensfähigkeit von Tieren in den zwanziger Jahren war die Voraussetzung für die Gewährung von Tierrechten in Form von Tierschutzgesetzen.

Auch die Entwicklung von Methoden zur Schlachtierbetäubung diente in erster Linie der Sicherheit des Menschen. Die betäubungslose Schlachtung von Tieren war für die Ausführenden immer mit großen Gefahren durch Abwehr- und Panikreaktionen der Tiere verbunden. Außerdem kommt es nach der Durchtrennung der Blutgefäße, der Luftröhre und ggf. der Speiseröhre der Tiere zu unberechenbaren, starken Exzitationen über einen Zeitraum von mehreren Sekunden bis Minuten infolge der aus dem Blutverlust resultierenden Sauerstoffunterversorgung des Gehirns (hypoxische Krämpfe) (DALY ET AL. (1988)). Bei verschiedenen Naturvölkern wird das betäubungslose Schlachten an einem Halsstrick fixierter Rinder heute noch als generelle Schlachtmethode praktiziert, und die entstehende Gefährdung des Menschen ist leicht nachzuvollziehen.

Wo größere Tierzahlen zur Schlachtung kamen, wurde nach Möglichkeit das Risiko der Verletzung des Menschen zu senken gesucht, indem die Extremitäten der Tiere ausgebunden wurden oder sie vor dem Entbluteschnitt niedergeworfen und gefesselt wurden. Dieses Verfahren wird auch heute noch im Rahmen ritueller Schlachtung von Rindern angewandt. GRANDIN schrieb hierzu: „In the U.S., religious slaughter is exempt from the Humane Slaughter Act and some slaughter plants use very cruel methods of restraint, such as shackling and hoisting a live animal by one hind leg“ (GRANDIN (1990)). Ähnliche Praktiken werden in aktuellen Berichten über die rituelle Schlachtung in Nordafrika beschrieben.

Die älteste Methode zur Immobilisierung und ggf. auch Betäubung ist die „Keulung“ des Schlachtieres mittels eines (Keulen-)Schlages auf den Kopf des angepflockten oder geführten Tieres. Ein „stumpfes Trauma“ führt infolge „Contre Coup“ zur Bewußtlosigkeit, wenn die Stirn des Tieres mit ausreichender Wucht getroffen wird. Die

Methode der Keulung wird den Römern zugeschrieben (FAHRBACH (1948)), war jedoch auch in anderen Kulturen heimisch (z.B bei den Wikingern (Museum Haithabu bei Schleswig)) und wurde mit dem Aufbau der Zünfte im Mittelalter zum allgemein angewandten Verfahren.

Nach der Einführung der elektrischen Betäubung durch Müller und Weinberger im Jahre 1928 wurden die Schlag- und Bolzenschußbetäubung bei Schlachtschweinen zunehmend durch die Elektrobetäubung abgelöst. Dies ist vor allem auch auf die Möglichkeit der Bewältigung steigender Schlachtzahlen mit dieser Methode zurückzuführen. Die Schlachtierbetäubung wurde in Deutschland mit Inkrafttreten des Schlachtgesetzes vom 24.4.1933 ausnahmslos vorgeschrieben. Mit der Novellierung des Tierschutzgesetzes vom 18.8.1986 wurde die Betäubungsvorschrift im Rahmen der Schlachtung ein Bestandteil der deutschen Tierschutzgesetzgebung.

Der Umgang mit Tieren soll im Einklang mit dem Grundsatz des Tierschutzgesetzes (§1) „aus der Verantwortung für das Tier als Mitgeschöpf, dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen“ und unter Vermeidung von „Schmerzen, Leiden und Schäden“ erfolgen. Ein Zufügen von "Schmerzen, Leiden und Schäden" und das Töten von Tieren ohne "vernünftigen Grund" ist eine strafbare Handlung (Tierschutzgesetz vom 23.2.1993). Der "vernünftige Grund" soll dabei ein Entscheidungskriterium sein, das den Standpunkt der Gemeinschaft in die Beurteilung der individuellen Handlung am Tier integriert (SIPPEL (1993)). Das Töten eines Tieres zur Gewinnung tierischer Produkte wird allgemein als „vernünftiger Grund“ aufgefaßt und ist dementsprechend explizit gestattet (TierschG §§4, 4a, 4b). Für die Tötung von Tieren im Rahmen der Schlachtung ist eine dem Tod durch Blutentzug vorangehende Betäubung zwingend vorgeschrieben (TierschG §4a), die geeignet ist, die Tiere schnell und unter Vermeidung von Schmerzen und Leiden in einen bis zum Tod anhaltenden Zustand der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit zu versetzen (TierSchlV §13(1) (Entwurf vom 25.11.1995)).

Entsprechende Regelungen für zugelassene Betäubungsverfahren finden sich im Europäischen Übereinkommen vom 13. Dezember 1968 über den Schutz von Schlachtieren (Beschluß des Rates 88/306/EWG; ABl. C106 vom 27.4.1992 S.15), der „Richtlinie 93/119/EG des Rates vom 22. Dezember 1993 über den Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Schlachtung oder Tötung „(ABl. EG Nr. L340 S. 21) sowie deren Umsetzung in nationales Recht in Form der „Verordnung zum Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Tötung oder Schlachtung - TierSchlV (Entwurf vom Nov. 1995)“

(§13 und Anh. 3). Paragraph 15 Tierschutzgesetz weist die Zuständigkeit für den Gesetzesvollzug der durch Landesrecht zu bestimmenden Behörde zu (zugrunde liegt Artikel 74 Satz 20. Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland). Der Vollzug obliegt bundesweit dem öffentlichen Veterinärwesen, d.h. den Veterinärämtern vor Ort. Tierärzte und Tierärztinnen sind nach §1 Bundes-Tierärzteordnung verpflichtet, Leiden, Schäden und Schmerzen der Tiere zu verhüten, sie sind "die berufenen Anwälte der Tiere". Aus Sicht des Tierschutzes endet die vorgeschriebene Schlachttieruntersuchung durch den amtlichen Tierarzt am Schlachtbetrieb erst mit der Empfindungslosigkeit des Schlachttieres bei der Schlachtung, d.h. nach der erfolgreichen Betäubung und Tötung des Schlachttieres.

Die Elektrobetäubung stellt gegenwärtig das am weitesten verbreitete Betäubungsverfahren für die Schlachtschweinebetäubung dar. Die Sicherstellung der tierschutzgerechten Durchführung der Elektrobetäubung kann als Anliegen verstanden werden, das rund 2/3 der in Deutschland geschlachteten Schweine betrifft, und damit die Tierschutzgerechtigkeit der Schlachtung von mehr als 25 Mio Schweinen jährlich allein in Deutschland.

Im Rahmen dieser Studie sollten Untersuchungsmethoden geprüft und ein praxisnaher Untersuchungsgang zur Überwachung der Effektivität und Tierschutzgerechtigkeit der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen entwickelt werden.

## 2 SCHRIFTTUM

### 2.1 Begriffsdefinitionen

**Schlachten** ist nach §4 Fleischhygienegesetz (FlHG vom 8.7.1993) das Töten von Tieren (nach §1) durch Blutentzug nach vorangegangener Betäubung.

Zur **Betäubung** wird ein Verfahren angewandt, das einen Zustand der „Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit“, früher auch als „Bewußtlosigkeit“ definiert, bei dem Schlacht tier auslöst. Im englischen Sprachraum wurde der anthropomorphe Begriff „consciousness“ („Bewußtlosigkeit“ oder „fehlendes Bewußtsein“) durch „insensibility“ ersetzt. MICKWITZ U. LEACH (1977) mahnten die Benutzung der Analogie „Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit“ anstelle von „Bewußtlosigkeit“ für den deutschen Sprachgebrauch an. Sie setzten für die Tierschutzgerechtigkeit einer Betäubungsmethode eine unverzügliche Betäubungswirkung und den unmittelbaren Übergang der Betäubung in den entblutungsbedingten Tod infolge cerebraler Hypoxie ohne Wiedererlangen von Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit voraus. Die Formulierung ist im Entwurf der „Verordnung zum Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Tötung oder Schlachtung - TierSchlV (Entwurfassung vom Nov. 1995, Umsetzung der RL 93/119/EG vom 22.12.1993) übernommen worden. Ein Tier ist definitionsgemäß exakt für die Zeitdauer des Zustandes von Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit **betäubt**.

### 2.2 Gesetzliche Vorgaben für die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen

Das Tierschutzgesetz schreibt für die Tötung von Tieren im Rahmen der Schlachtung eine dem Tod durch Blutentzug vorangehende Betäubung zwingend vor (TierschG §4a).

Die in Vorbereitung befindliche „Verordnung zum Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Tötung oder Schlachtung“ (TierSchlV) schreibt für die Elektrobetäubung vor, die Tiere in eine solche Stellung zu bringen, daß das (Betäubungs-)Gerät ohne Schwierigkeiten genau und so lange wie nötig angesetzt und bedient werden kann (§12(1)). Vorrichtungen zum Ruhigstellen sowie Ausrüstungen und Anlagen für das Betäuben von Tieren sind so zu planen, zu bauen, instand zu halten und zu verwenden, daß ein ra-

sches und wirksames Betäuben und Schlachten oder Töten unter Vermeidung von mehr als unvermeidlicher Aufregung, Schmerzen, Leiden und Schäden bei den Tieren sichergestellt ist (§3).

Bei der Elektrobetäubung von Schweinen muß das Gehirn zuerst oder zumindest gleichzeitig mit dem Körper für eine Dauer von mindestens vier Sekunden mit mindestens 1,3A durchströmt werden. Es muß sichergestellt werden, daß die Stromstärke von 1,3A innerhalb der ersten Sekunde nach Einschalten des Stromflusses erreicht wird (Anl. 3 zu §13). Tiere dürfen erst ruhig gestellt werden, wenn die ausführenden Personen zur sofortigen Betäubung und Tötung bereitstehen (§12 (4)). Mit dem Blutentzug ist bei Schweinen innerhalb von 20 Sekunden nach Betäubungsbeginn zu beginnen, und das Tier ist zu entbluten, solange es empfindungs- und wahrnehmungslos ist (§13(2) u. Anl. 2 zu §13).

Die Betäubungsanlagen müssen über Anschlüsse für die Messung von Betäubungsspannung und Betäubungsstromstärke während der Betäubung verfügen, und dem Betäuber müssen das Ende der Mindeststromflußzeit und eventuelle Betäubungsfehler deutlich angezeigt werden. In Betrieben mit mehr als 20 GVE/Woche oder mehr als 1000 GVE/Jahr muß der Stromstärkeverlauf oder Abweichungen von den genannten Vorgaben aufgezeichnet und ein Jahr aufbewahrt werden. (Anl. 3 zu §13)

Im Kommentar zum Anhang 3 der „Verordnung zum Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Tötung oder Schlachtung“ (TierSchlV) wird zu den technischen Anforderungen an die Betäubungsströme konkretisiert, daß sich die angegebenen Werte auf die „effektive Stromstärke“ bei „Wechselströmen mit von Sinus 50Hz nicht wesentlich abweichende Stromformen beziehen“. Die Kombination der Betäubung mit der anschließenden Auslösung von Herzkammerflimmern wird ausdrücklich befürwortet.

Ein Niedersächsischer Erlaß von 1996 schreibt bei wesentlich von 50 Hz Sinus- oder Rechteckwechselströmen abweichenden Betäubungsströmen eine nachfolgende Herzdurchströmung mit 50-90 Hz Sinus- oder Rechteckwechselstrom vor.

## 2.3 Die elektrische Betäubung von Schlachttieren

### 2.3.1 Begriffsbestimmung für die Anfallserscheinungen infolge der elektrischen Durchströmung des Gehirnes

Durch elektrische Reizung können am Gehirn Funktionsstörungen ausgelöst werden, die mit der Depolarisation einzelner Nervenzellen beginnen. Direkt von der Durchströmung betroffene Nervenzellen entwickeln eine übermäßige, synchrone Aktivität, und unter bestimmten Voraussetzungen kommt es sekundär zur Generalisierung, d.h. einer hypersynchronen Neuronenaktivität großer Teile oder des gesamten Gehirnes, so daß sich diese artifiziell ausgelösten Anfälle elektroencephalographisch kaum von genuinen epileptischen Anfällen unterscheiden. Im tierexperimentellen Modell werden derartige durch elektrische Ströme ausgelöste, generalisierende Anfälle, die mit Grand mal-typischen tonisch-klonischen Krämpfen einhergehen, zur Erforschung und Erprobung antikonvulsiver Arzneimittel eingesetzt, die bei der Therapie der Epilepsien Verwendung finden (JURNA (1992), FEUERSTEIN U. JURNA (1996), SPECKMANN U. STRAUB (1993), WOLFE U. GELDER (1993)).

In der Literatur finden sich vielfältige Definitionen für „Epilepsien“. Da sich die vorliegende Arbeit nicht mit der Epilepsie als Krankheit beschäftigt, sondern für die Tierschutzfragestellungen nur den Effekt des ausgeschalteten Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögens für den Verlauf des epileptischen Anfalles beim Menschen betrachtet, der im Analogieschluß auch für Tiere mit EEG-Veränderungen, die denen beim Grand mal des Menschen entsprechen sollen (HOENDERKEN (1978), COOK (1995)), angenommen wird, soll auf die Definition der Epilepsie nur am Rande eingegangen werden.

JANZ (1985) definierte „Epilepsien“ als ätiologisch und klinisch heterogene, chronische cerebrale Funktionsstörungen, die mit rezidivierenden epileptischen Anfällen einhergehen. Sie manifestieren sich in abrupten Störungen des Sensoriums, der Motorik, des subjektiven Empfindens und des objektiven Verhaltens, und sie werden durch eine plötzliche abnorme Aktivitätssteigerung (von Teilen) des Gehirns hervorgerufen.

Von VANDEFELDE U. FANKHAUSER (1987; S.256 ff.) wurden Epilepsien als „*klinische Manifestation von plötzlich auftretenden aber vorübergehenden (=paroxysmalen), spontanen >>Entladungen<< von Gruppen von Nervenzellen im Großhirn*“ beschrieben und „*Im Prinzip kann jedes Gehirn zu solchen plötzlichen Massenentladungen gebracht werden, doch hat es normalerweise eine hohe sog. Krampf-*

*schwelle, d. h. sehr starke Reize sind zur Krampfauslösung notwendig (Elektroschock, Krampfgifte, plötzliche Hypoglykämie etc. )“.*

Zur Frequenz der Anfälle (VANDEFELDE U. FANKHAUSER (1987); S.258 u. S. 260)) bei Tieren wurde bemerkt: *„Es gibt Hunde, bei denen nur ein einziger, isolierter Anfall beobachtet wird; andere haben Anfälle in regelmäßigen Abständen ...“.* Eine analoge Darstellung findet sich bei JAGGY U. STEFFEN (1995).

DELANK (1988) definierte den "epileptischen Anfall" als *"bedingt durch eine vorübergehende totale oder partielle Dysfunktion des Gehirnes... Grundsätzlich kann jeder Mensch einen epileptischen Anfall erleiden ... Der epileptische Anfall ist also lediglich ein Symptom und keine Krankheit sui generis. Unbekannt sind bisher die spezifischen zerebralen Funktionsstörungen, die letztlich einen Anfall auszulösen vermögen. Zu diesen Funktionsstörungen ... führen exogene Ursachen (zerebrale Noxen) ebenso wie genetisch-metabolische Gegebenheiten ... Der epileptische Anfall ist ein keineswegs seltenes Ereignis; rund 5% aller Menschen werden irgendwann in ihrem Leben, teils unter besonderen Umständen, von einem oder auch mehreren Anfällen betroffen."*

Unter "Epilepsie" hingegen faßte DELANK (1988) nur die chronische cerebrale Funktionsstörung, die durch rezidivierende "epileptische Anfälle" charakterisiert ist, und er verwies: *"Der Begriff 'Epilepsie' sollte nur dort verwandt werden, wo epileptogene Funktionsstörungen chronisch geworden sind und das rezidivierende Anfallsgeschehen keine unmittelbar auslösende Ursache mehr erkennen läßt, vielmehr einen eigengesetzlichen Verlauf nimmt."*

SCHMIDT (1992) verwendete folgende Definition: *"Epilepsien sind Syndrome unterschiedlicher Ätiologie, die klinisch durch wiederholtes Auftreten epileptischer Anfälle gekennzeichnet sind. Epileptische Anfälle sind vorübergehende Verhaltensänderungen aufgrund paroxysmaler exzessiver neuronaler Entladungen des Gehirns. Epilepsien sind abzugrenzen von epileptischen Gelegenheitsanfällen, die ausschließlich nach Provokationen wie Schlafentzug, Alkoholentzug oder Fieber, bei akuten Erkrankungen des Gehirnes und bei Allgemeinerkrankungen auftreten, sowie nicht-epileptischen Anfallssyndromen wie Synkopen, Hypersomnien und psychogenen Anfällen."*

Folgende Definition gab RABENDING (1993) in Anlehnung an die „Internationale Klassifikation der Epilepsien, Epilepsiesyndrome und verwandte Anfallssyndrome“ der „Internationalen Gesellschaft gegen die Epilepsie“ (ILAE) an: *"Epilepsie ist der*

*Oberbegriff für eine Vielzahl von Krankheiten und Syndromen, deren einzige Gemeinsamkeit im Auftreten epileptischer Anfälle besteht. ... Die Skala der Verläufe umfaßt an einem Ende Syndrome mit ausschließlich reaktiv auftretenden epileptischen Anfällen (epileptische Reaktionen) und am anderen Ende a priori pharmakoresistente Formen ... Dazwischen liegen Syndrome mit nur einem oder wenigen epileptischen Anfällen ... Unter praktischen Gesichtspunkten, vor allem auch im Hinblick auf die Therapie, werden als Epilepsien chronische Krankheiten und Syndrome mit sich wiederholenden epileptischen Anfällen von den epileptischen Reaktionen (Gelegenheitsanfälle) abgegrenzt. Mit der Aufnahme der Gelegenheitsanfälle in die Internationale Klassifikation der Epilepsien, Epilepsiesyndrome und verwandte Anfallssyndrome (s.d.) wird jedoch auch deren Zugehörigkeit zu den Epilepsiesyndromen zum Ausdruck gebracht. Innerhalb der Epilepsiesyndrome nehmen die Gelegenheitsanfälle aufgrund ihrer Abhängigkeit von Auslösern und damit auch ihres Verlaufes eine Sonderstellung ein."*

Einmalig auftretende epileptische Ereignisse definierte RABENDING (1993) als Monoepilepsie. Zu den epileptischen Gelegenheitsanfällen schrieb er: *"Epileptische Gelegenheitsanfälle sind an auslösende Ursachen oder Umstände gebunden. Wenn die Ursachen wegfallen oder beseitigt bzw. die auslösenden Umstände vermieden werden, treten die Anfälle nicht mehr auf. Unter der Bezeichnung "akute Epilepsie" wurden sie früher den chronischen Epilepsien gegenübergestellt. Obwohl die Gelegenheitsanfälle überwiegend Grand mal sind, können auch andere Anfallsarten als Gelegenheitsanfälle auftreten (z.B. einfache oder komplexe fokale Anfälle). Anstelle einzelner Anfälle kommen z.B. bei Intoxikationen oder im Alkoholentzug bei Alkoholikern Anfallsstaus vor (Grand mal, fokale Anfälle, Absencen)." Der Begriff „'chronische Epilepsien' wurde früher verwendet, um die Epilepsien im engeren Sinne, d. h. die Epilepsien mit chronisch wiederkehrenden Anfällen (im Gegensatz zu Gelegenheitsanfällen) zu bezeichnen."*

Im PSCHYREMBEL, 257. Ausgabe (1994; S. 418-422), wurde unter „Epilepsie“ definiert: *„paroxysmale Funktionsstörungen des Gehirns infolge exzessiver Entladungen von Neuronen; insgesamt erleiden ca. 5% aller Menschen in ihrem Leben einen Anfall“.* Unter der Ätiologie wurden unter anderem auch Hypoglykämie und Intoxikationen aufgeführt und bei der klinischen Manifestation in Gelegenheitsanfälle (u.a. infolge von Fieber und Schlafentzug) und chronisch rezidivierende Anfälle unterschieden.

Auf eine Anfrage bei der Klinik für Epileptologie der Universität Bonn inwieweit „der wiederkehrende Anfall charakterisierend für den ‚epileptischen Anfall‘ oder die ‚Epilepsie‘“ sei, verwies Prof. Dr. C. E. Elger (Direktor der Klinik für Epileptologie) darauf, daß „epileptische Anfälle“ und „Epilepsie“ als voneinander unabhängige Begriffe zu verwenden seien und daß auf das Vorliegen eines „epileptischen Anfalls“ (unabhängig vom Krankheitsbild der Epilepsien) anhand der EEG-Aufzeichnung geschlossen werden könne. Bei der Elektrokrampftherapie werde eine paroxysmale Funktionsstörung im Gehirn ausgelöst, eine „Epilepsie“ läge bei den Patienten jedoch nicht vor, da Voraussetzung für die „Epilepsie“ sei, daß epileptische Anfälle ohne akute Ursache wiederholt aufträten (ELGER (1996), pers. Mitteilung).

Da „Epilepsien, Epilepsiesyndrome, verwandten Anfallserscheinungen“ oder epilepsiebedingte „epileptische Anfällen“ nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind, wird die infolge ordnungsgemäßer Elektrobetäubung auftretende Funktionsstörung im Gehirn, die gemäß der Literatur elektroencephalographisch einem epileptischen Grand mal beim Menschen entspricht und mit motorischen Störungen im Sinne Grand mal-typischer tonisch-klonischer Krämpfe einhergeht, im Folgenden als „generalisierter cerebraler Anfall“, abgekürzt als **GCA**, bezeichnet, um einen falschen Bezug zu krankhaften Veränderungen im Sinne von „Epilepsien“ zu vermeiden.

Der Analogieschluß von den Erfahrungen epilepsiekranker Menschen während des Grand mal-Anfalles auf eine Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit für die Dauer analoger EEG-Veränderung beim elektrisch ausgelösten GCA war die Grundlage für die Anerkennung der elektrischen Betäubung als tierschutzgerechte Methode für verschiedene Tierarten (HOENDERKEN (1978, 1979, 1982, 1983), LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982), LAMBOOIJ (1982, 1996A), LOPES DA SILVA (1982), NEWHOOK U. BLACKMORE (1982A, 1982B), LAMBOOIJ ET AL. (1983), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), GREGORY (1985, 1993), WORMUTH U. SCHÜTT-ABRAHAM (1986), BLACKMORE U. DELANY (1988), LAMBOOIJ U. RING (1989), BAGER ET AL. (1990), SCHÜTT-ABRAHAM (1994), COOK ET AL. (1995), WOTTON (1995), KOCH ET AL. (1996), LAMBOOIJ ET AL. (1996)).

### **2.3.2 Die Entwicklung des Elektrobetäubungsverfahrens**

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts begannen Untersuchungen zur Wirkung elektrischen Stromes auf das Gehirn und die Körperorgane von Tieren. Diese Experimente sollten der Abschätzung der Gefährlichkeit des elektrischen Stromes für den Menschen dienen, bildeten aber gleichzeitig die Grundlage für den Einsatz elektrischen Stromes als Betäubungsmethode für Schlachttiere (LEDUC (1903)). Wurden zur Betäubung anfänglich intermittierende Gleichströme eingesetzt (LEDUC (1902, 1903), KÖSLER (1928)), so fanden Ende der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts erste Versuche statt, die eine gleichsinnige Wirksamkeit von Wechselstrom belegten (FAHRBACH (1948), MÜLLER (1934b)), so daß die Wechselstrombetäubung mit zunehmender Versorgung der Städte mit Netz-Wechselstrom rasch Verbreitung fand.

In den dreißiger Jahren wurde die Wirkung der elektrischen Betäubung mit den Folgen einer elektrisch ausgelösten Durchblutungsstörung des Gehirnes erklärt (MÜLLER (1934a)). FAHRBACH (1948) teilte in seiner Dissertation die Auffassung „*elektrisch ausgelöste arterielle Durchblutungsstörungen durch Gefäßspasmen*“ seien „*die Grundlage einer epileptiformen Symptomatik bei der Elektrobetäubung*“.

Verschiedene Autoren haben eine für Epilepsie pathognomonische Symptomatik mit dem Auftreten tonisch-klonischer Krämpfe im Zusammenhang mit der elektrischen Betäubung im Detail beschrieben, diese aber vorwiegend als Folge von Durchblutungsstörungen eingestuft (WARRINGTON (1974)). Die Versuchsanordnungen von BOCKELMANN (1902), LEDUC (1902, 1903) und MÜLLER (1934b) bewirkten eine Ganzkörperdurchströmung der Tiere (synchrone Hirn-Herz-Durchströmungen), infolgeder das Herz ebenfalls der Stromwirkung ausgesetzt gewesen sein könnte.

Mit Hilfe der Elektroencephalographie wiesen GAULTEROTTI ET AL. (1942), CROFT (1952) und CROFT U. HUME (1956) einen direkten Zusammenhang zwischen der Applikation von elektrischem Strom (bei der Betäubung) und der Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) nach.

Wenn die elektrische Durchströmung unmittelbar zur Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) führt, wird sie als im Sinne des §4a Tierschutzgesetz geeignete Betäubungsmethode für alle Schlachttiere angesehen, deren Tierschutzgerechtigkeit unstrittig ist, wenn sichergestellt ist, daß der GCA unmittelbar in den Tod übergeht (MÜLLER (1970), MICKWITZ U. LEACH (1977), HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1982), LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982)).

### **2.3.3 Die Wirkung elektrischen Stromes auf das Gehirn**

#### **2.3.3.1 Elektroanästhesie und Elektronarkose: Die Stromwirkung am Gehirn ohne Auslösung von generalisierten cerebralen Anfallserscheinungen (GCA)**

Elektrischer Strom bewirkt unterhalb eines Schwellenwertes, der einen generalisierten cerebralen Anfall (GCA) mit tonisch-klonischen Krämpfen auslöst, eine veränderte Reaktionslage der Nervenzellen im Gehirn. Einige Ergebnisse der Forschung auf dem Feld der Elektroanästhesie und Elektronarkose waren grundlegend für die Entwicklung der Elektrobetäubung und sollen hier angesprochen werden, weil sie in Bezug auf die Elektrobetäubung bzw. für die Symptomatik von Fehlbetäubungen bedeutsam erscheinen.

Bei der Elektronarkose wird versucht, Krampfbewegungen durch die Wahl besonderer Stromparameter (Frequenzen und Stromformen) und Verwendung kleiner Stromstärken (um 100mA) zu vermeiden. Außerdem sollen regelmäßige Atmung und Herz-tätigkeit erhalten bleiben.

Ein wesentlicher Vorteil der Elektronarkose, d.h. der Stromapplikation ohne Auslösung von GCA, besteht in dem unmittelbaren Wiedererwachen nach Durchströmungsende (BREER (1936), SHORT (1964), MICKWITZ U. REINHARD (1966), GEDDES ET AL. (1967), LAMBOOIJ (1985)). Bei der Elektrobetäubung ist demgegenüber die Fortdauer der Betäubungswirkung infolge des andauernden GCA über die Durchströmungsdauer hinaus bis zum entblutungsbedingten Tode des Tieres Voraussetzung für ihre Tierschutzgerechtigkeit (MICKWITZ U. LEACH (1977), MICKWITZ (1982)). Die Elektrobetäubung mit niedrigen Spannungen (70-90V) wurde von verschiedenen Autoren als tierschutzwidrig eingestuft, weil nicht bei allen Tieren unmittelbar zu Beginn des Stromflusses ein GCA ausgelöst wird, und die Tiere bei teilweise erhaltenem Sensorium nach Ende des Stromflusses lediglich immobilisiert resp. elektroanästhesiert waren (HOENDERKEN (1978), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1988b, 1989b))

LEDUC (1902) schilderte als erster die Erfahrungen mit der Anwendung intermittierenden Gleichstromes am Kopf (100Hz; 1ms Impulsdauer, mit steigender Spannung). In zwei Selbstversuchen beschrieb er die Stromeinleitung als zu Beginn unangenehm aber erträglich auf der Haut, dann folgten neben einer leichten Hautrötung, Muskelzuckungen und zentrale Wirkungen mit einer Hemmung des Sprachzentrums, Muskel-lähmungen, getrübe Umgebungswahrnehmung und Schmerzunempfindlichkeit. Die

Versuche wurden vor dem Verlust des Bewußtseins abgebrochen. Bei Hunden erreichte LEDUC (1903) mit intermittierendem Gleichstrom bei 1000 Impulsen/min (16,6Hz) aus seiner Sicht hinreichende Ergebnisse im Sinne einer Analgesie. BREER (1936) berichtete über den Einsatz von elektrischem Strom bei Kastration und Laparotomie beim Schwein. GUALTIEROTTI ET AL. (1942) untersuchten Frequenzen von 80-10.000Hz auf ihre Tauglichkeit zur Elektronarkose an verschiedenen Kleintieren und stellten 280 Hz als geeignete Frequenz für die Elektronarkose heraus. Die angesprochenen Versuche erfolgten unter Ganzkörperdurchströmung.

CROFT (1952) untersuchte die Betäubungswirkung von Wechselstrom mittels implantierter Gehirnelektroden bei verschiedenen Stromstärken und Frequenzen. Als wirksam erwiesen sich 25-30mA mit Frequenzen zwischen 50 und 200Hz. Bei 25Hz trat keine Bewußtlosigkeit ein; die Versuchstiere zuckten stattdessen im Rhythmus der Frequenz. MC GAUGH U. MADSEN (zit. n. SHORT (1964)) berichteten über Betäubungsversuche an Labortieren, daß Frequenzen von unter 200Hz nicht sofort zur Bewußtlosigkeit führten und Frequenzen über 2000Hz Schmerzäußerungen hervorriefen. Einen Überblick über die Erfahrungen und die Anwendungsmöglichkeiten elektrischen Stromes zur Analgesie und Anästhesie gaben FABIAN ET AL. (1964). Ein Problem stellte die unvollständige Relaxation der Muskulatur und Gliedmaßen dar. SHORT (1964) berichtete in einem Übersichtsartikel von der erfolgreichen Verwendung unterschiedlichster Frequenzen und Stromformen zur Elektronarkose bei Großtieren sowie einer bevorzugten Frequenzmodulation ausgehend von 700Hz heruntergeregelt bis zu einer hinreichenden Analgesie. Dabei mußte aufgrund zwischenzeitlichen Sistierens der Atmung die Frequenz wieder erhöht, resp. die Stromstärke gesenkt werden. GEDDES ET AL. (1967) berichteten über erfolgreiche Versuche an Pferden, die mit Gleichstrom (DC\_40mA) überlagert mit einem Wechselstrom (AC\_50mA\_100Hz) anästhesiert wurden. Bei diesen Versuchen brachen die Tiere nach Einschalten des Stromes abrupt zusammen, und während der Elektronarkose kam es verschiedentlich zum Ausfall regelmäßiger Atmung, so daß die Stromstärke wieder gesenkt und dann erneut hochgeregelt werden mußte.

MICKWITZ U. REINHARD beschrieben erfolgreiche Versuche mit der Elektronarkose beim Schwein und gaben einen Überblick über die bis dato beschriebenen Erfahrungen mit Operationen unter Elektronarkose (MICKWITZ U. REINHARD (1966), REINHARD U. MICKWITZ (1968)). Die Autoren kamen zu dem Schluß, daß die Elektronarkose oder Elektroanästhesie durchaus geeignet sei, für die Dauer des Stromflusses eine ausrei-

chende Narkosetiefe sicherzustellen, und daß sie sich über Stromstärke und -frequenz besser als herkömmliche Narkoseverfahren kontrollieren ließe. Zur Erzielung einer Elektronarkose bei Schweinen wandten MICKWITZ und REINHARD eine Frequenzmodulation an, bei der ausgehend von einer hohen Anfangsfrequenz von 20.000Hz die Frequenz des Stromes innerhalb von 7 Minuten manuell auf 100Hz heruntergeregelt wurde. Die in Seitenlage fixierten Schweine zeigten bei dieser Art der Stromzuführung keine Reaktionen auf das Einschalten des Stromes. Zur Erzielung einer Schmerzunempfindlichkeit für eine Probelaparatomie mußte bei dieser Art der „Frequenz-Einschleichung“ ca. 130mA gegenüber 50-60mA bei fester Frequenz eingesetzt werden. MICKWITZ (1967) wies darauf hin, daß man bei exakt dem gleichen Versuchsaufbau in 40 von 100 Fällen erfolgreich eine ausreichende Analgesie und Elektroanästhesie bei Schweinen erreicht habe, daß viele der hieraus entstehenden Fragen noch unbeantwortet seien. Probleme bereiteten die Steuerung der Narkosetiefe bei gleichzeitig erhaltener regelmäßiger Atmung sowie auftretene Krampfaktivitäten.

KNUTSON ET AL. (1967) fanden bei Hunden einen Einfluß der Elektrodenposition und der Elektrodenform auf die Mindeststromstärke zur Auslösung von Veränderungen im EEG, die sich in einem Abfall der Frequenz bei leichtem Anstieg der Amplitude darstellten. Mit Elektrodenplättchen (Silber, Durchmesser 3cm), die mittels Gummimanchetten auf die Nase fingerbreit vor den Augen bzw. an den Hinterkopf gedrückt wurden, waren EEG-Veränderungen bei einem von fünf Hunden bereits bei Strömen mit AC\_5mA\_825Hz und bei vier Hunden bei AC\_40mA\_825Hz auslösbar. Nadel Elektroden erwiesen sich auch bei gleicher Positionierung als tendenziell weniger geeignet. Eine Durchströmung in Längsrichtung war einer in Querrichtung (bitemporal) tendenziell überlegen.

Demgegenüber kam LAMBOOIJ (1985) nach Untersuchungen mit einem Elektronarkosegerät (DC\_50V\_50Hz) zu der Feststellung, daß ohne Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalls (GCA) Schmerzäußerungen infolge einer Immobilisation zwar unterdrückt seien, das Schmerzempfinden bei der Elektroanästhesie hingegen zumindest teilweise erhalten bleibe. Er wies bei 15 von 29 untersuchten Tieren Reaktionen auf Schmerzreize nach und konnte encephalographisch nur bei zwei Tieren eine Abweichung vom „Normal-EEG“ feststellen.

### 2.3.3.2 Elektrobetäubung: Die Auslösung von generalisierten cerebralen Anfällen (GCA) mittels elektrischer Kopfdurchströmung

Die Betäubungswirkung der elektrischen Durchströmung basiert auf einer massiven Stimulation des ZNS durch den elektrischen Strom, der zu einer Depolarisation von Nerven und zur Störung der normalen elektrischen Aktivitäten im Gehirn führt. Die Wirkung des elektrischen Stromes beruht auf der Beeinflussung der Membranpotentiale der Nervenzellen (MÜLLER (1970)). Depolarisation und Hyperpolarisation der Zellmembranen wechseln sich ab bis zur Erschöpfung (MÜLLER (1978), AUGUSTINI ET AL. (1981), LOPES DA SILVA, (1983)) oder bis inhibitorische Einflüsse (Neurotransmitter, Ionenverschiebungen) die exzitatorischen Einflüsse übertreffen (SPECKMANN U. STRAUB (1993)). Die Ganglienzelle kann direkt - durch äußerlich einwirkende Reizströme - oder aber indirekt - über benachbarte Ganglienzellen - erregt werden. Durch die gleichzeitige Reizung hemmender Interneurone treten hemmende und erregende Wirkungen nebeneinander auf (MÜLLER (1970)).

HOENDERKEN (1978) konnte bei Schweinen anhand der Elektroencephalographie mit neun Potentialableitungen an der *Dura mater* zeigen, daß durch die elektrische Durchströmung ein Effekt generalisierter Hypersynchronie der Entladungen von Neuronen verschiedener Gehirnareale im Sinne eines epileptischen „Grand mal“ erreicht werden kann. Er schloß auf einen „Alles oder Nichts“-Zusammenhang bei der Elektrobetäubung.

STRAATEN (1975) vermutete als Ursache für die Generalisierung des Anfalles die elektrische Erregung eines epileptogenen Zentrums im oder am *Thalamus* (STRAATEN (1975) zit n. GREGORY (1985)). ROOS U. KOOPMANS (1939) berichteten, die *Medulla oblongata* sei in die Krampfaktivität miteinbezogen und für die Symptomatik verantwortlich. GAULTEROTTI ET AL. (1942) nahmen an, daß die Stimulation des *Diencephalon* (*Hypothalamus*) die Hauptrolle bei dem GCA spiele. Nach WARRINGTON (1974) ist wahrscheinlich die Erregung verschiedener Teile des Gehirnes (motorische Cortexanteile und die *Pons variolii*) für die motorische Aktivität beim Krampfgeschehen verantwortlich.

Die Elektrobetäubung wird grundsätzlich als im Sinne des §4a Tierschutzgesetz geeignete Betäubungsmethode angesehen, deren Tierschutzgerechtigkeit unstrittig ist, wenn die Durchströmung unmittelbar zur Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles führt (MÜLLER (1970), MICKWITZ U. LEACH (1977), HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1982), LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982)).

## **2.3.4 Symptomatik der generalisierten cerebralen Anfälle (GCA)**

### **2.3.4.1 Bewußtlosigkeit beim Menschen infolge elektrischen Stromes**

FLEMING ET AL. ((1939) zit. n. WARRINGTON (1974)) berichteten über Patienten-Erfahrungen mit der „electro-convulsant therapie“, einer Kopfdurchströmung mit AC\_100V\_50Hz Wechselströmen zur Schizophreniebehandlung, daß es zu tonisch-klonischen Krampfanfällen gekommen sei. Die Patienten vermochten sich nicht an die Behandlungen zu erinnern. WARRINGTON (1974) verwies darauf, daß dies auch als Hinweis auf eine retrograde Amnesie gewertet werden kann.

Es können auch Erfahrungen von Menschen herangezogen werden, die von Unfällen mit den ersten Elektrobetäubungsgeräten betroffen waren. KELLER (zit. nach FAHRBACH (1948)) beschrieb die Erfahrung eines Schlachthoftechnikers, der sich selbst die Elektroden einer Elektrobetäubungszange beiderseits am Ohrgrund anlegte und die Betäubung, nachdem er eine Minute später wieder erwachte, nicht schmerzhaft erinnerte, jedoch über Muskelschmerzen infolge der Krämpfe klagte.

### **2.3.4.2 Die Symptomatik elektrisch ausgelöster GCA beim Schlachtier**

Die für den generalisierten cerebralen Anfall (GCA) typische Abfolge klonischer und tonischer Phasen können insbesondere bei alleiniger Gehirndurchströmung eindeutig unterschieden werden. Sie werden von verschiedenen Autoren zur Bewertung des Vorhandenseins eines GCA sowie dessen Dauer herangezogen (CROFT (1952), CROFT U. HUME (1956); HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981), BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a), SCHÜTT-ABRAHAM ET. AL. (1983), LOPEZ DA SILVA (1982), BLACKMOORE U. DELANY (1988), ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992), COOK ET AL. (1993)).

Die unphysiologische Aktivität des Gehirns äußert sich in Konvulsionen. Die erhebliche energetische Beanspruchung der Muskel- und Nervenzellen ist die Ursache dafür, daß die tonische Krampfphase nur noch relativ kurze Zeit durchgehalten werden kann. In der darauffolgenden klonischen Phase tritt die Krampfaktivität nur noch intermittierend auf, bis sie sich dann aus Sauerstoffmangel erschöpft. Nach etwa 10 Sekunden entwickelt sich eine zunehmende Synchronisation der verschiedenen elektrischen Abläufe im Gehirn, die für den Übergang in das klonische Krampfverhalten verantwortlich ist (MÜLLER U. ENGELI (1968)).

Bereits CROFT U. HUME (1956) beschrieben den zu beobachtenden Verlauf bei elektrisch betäubten Schafen als dreiphasig:

- Eine tonische Phase mit unmittelbar auf die Stromeinschaltung folgender Beugung aller Gliedmaßen, Schließen der Augenlider und maximaler Streckung der Hintergliedmaßen mit tonischen Muskelkontraktionen. In der tonischen Phase kann es zu Harn- und Kotabsatz kommen. Dauer: bis 10 Sekunden.
- Eine klonische Phase mit Muskelentspannung und paddelnden Gliedmaßenbewegungen, schwachen Laufbewegungen der Hintergliedmaßen, Öffnen der Augenlider, die Bulbi sind hochgedreht. Dauer: bis 30 Sekunden.
- Eine Erholungsphase, die Muskeln sind entspannt, die Augen wirken normal, und das Tier scheint seine Umgebung wahrzunehmen. Sie endet, wenn die Tiere den Kopf heben und sich aufrichten. Dauer: unbestimmt.

Bei Schweinen kann demgegenüber initial (tonische Phase) auch eine Beugung der Hintergliedmaßen bei gleichzeitiger tonischer Streckung der Vordergliedmaßen beobachtet werden (ANIL (1991)). In der klonischen Phase werden die tonisch gestreckten Vordergliedmaßen in unregelmäßigen Abständen ruckartig und oft synchron bewegt, anstelle der bei Schafen beschriebenen paddelnden Bewegungen, und das höherfrequente Schlagen der Hintergliedmaßen geschieht oft synchron mit beiden Extremitäten gleichzeitig. Für die tonische Phase ermittelte ANIL (1991) bei 115 Schweinen (ohne Schlachtung) eine Dauer von im Mittel  $11s \pm 1$  (0-54) ab Durchströmungsbeginn, an die sich eine klonische Phase mit einer mittleren Dauer von  $27s \pm 2,4$  (0-57) anschließt.

Zu beobachten ist, daß die elektrische Durchströmung die Herztätigkeit hemmt und die Atmung durch maximale Kontraktion der Skelettmuskeln ausbleibt (häufig kommt es zu einem schnarrenden Luftgeräusch zu Beginn oder am Ende der Durchströmung), gleichzeitig steigt der Blutdruck (BLOMQUIST, 1958). Die Atmung bleibt während des GCA unterdrückt, und ihre Wiederkehr erfolgt gleichzeitig mit dem Ende der zentralen Anfallserscheinungen (ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992)).

Durch die direkte Wirkung des Stromes kann die Symptomatik nach elektrischer Durchströmung unterschiedlich lange und stark ausgeprägt sein (GREGORY (1985)). Gegenüber Narkoseverfahren (Inhalations-, Injektionsnarkose) oder der CO<sub>2</sub>-Betäubung mit einem festen Ablauf in Phasen resultiert bei der Elektrobetäubung eine größere Variabilität im Verhalten der Tiere ( MOSFELD LAURSEN (1982)). Durch direkte Stromeinwirkung verändert sich die Reaktionslage von Nerven und Muskulatur, so daß Reflexe (s. Kap. 2.5 ) oft nicht wie bei der Narkose zur Beurteilung der Betäubungstiefe herangezogen werden können (ROOS U. KOOPMANS (1936), LOPES DA SILVA (1982), MICKWITZ UND LEACH (1977), BLACKMORE (1989), GREGORY (1985)).

### **2.3.4.3 Oberflächen-Elektroencephalogramme (O-EEG) und Electrocorticogramme (ECoG) im Zusammenhang mit der Elektrobetäubung**

Der für die tierschutzgerechte Betäubung entscheidende Verlust von Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit (Synonym: „Insensibility“) durch Auslösung eines im EEG nachweisbaren generalisierten cerebralen Anfalls (GCA) (in der Literatur zur Elektrobetäubung verwandte Synonyme: „Epilepsie“, „epileptic fit“, „epileptic seizure“, „epileptiformous seizure“, „electroplectic fit“) ist für die Dauer der generalisierten, überschießenden Hypersynchronizität im EEG seit den Arbeiten von CROFT (1952) weitgehend unumstritten (HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981), BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), GREGORY U. WOTTON (1984a, 1984c), BLACKMORE U. DELANY (1988), GILBERT (1993), COOK ET AL. (1992, 1995)). Im Zusammenhang mit der Schlachtung gelingt die Ableitung Grand mal-typischer hypersynchroner Gehirnaktivität nicht nur bei elektrisch induzierten Anfällen, sondern auch bei hypoxischen Zuständen im Gehirn oder infolge mechanischer Traumen, wie beispielsweise beim Bolzenschuß (FREESEMANN (1975), LAMBOOIJ (1981,1982), BLACKMORE U. DELANY (1988)).

Als Methoden zum Nachweis des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) und der Betäubungswirkung im Sinne der Auslösung von Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit wurden die in der Humanmedizin gebräuchlichen Verfahren der O-EEG-Aufzeichnung (Oberflächen-Elektro-Encephalogramm) und der ECoG-Aufzeichnung (Elektro-Corticogramm) sowie ECoG in Kombination mit der Auslösung evozierter Potentiale angewandt. Bei beiden Verfahren werden zwischen zwei oder mehr Elektroden Potentialunterschiede im Mikrovolt-Bereich ( $\mu\text{V}$ ) verstärkt und aufgezeichnet. Die Methoden O-EEG und ECoG unterscheiden sich hinsichtlich des notwendigen Aufwandes bei der Versuchsdurchführung und ihrer Meßgenauigkeit (BAGER ET AL. (1990)).

Die Elektroden für die Aufzeichnung von Oberflächen-Elektro-Encephalogrammen (O-EEG) werden den Versuchstieren aus Gründen der Praktikabilität subcutan implantiert. Die Ableitungen können leicht durch Bewegungen oder Aktionpotentiale der Hautmuskulatur gestört werden, und die gemessenen Potentialunterschiede sind Ergebnis der Gehirnaktivität nicht weiter spezifizierbarer Gehirnareale. Während des GCA können tonische und klonische Phase mit beiden Ableitungen (O-EEG vs. ECoG) zweifelsfrei differenziert werden, die nachfolgende elektrische Stille, die mittels ECoG eindeutig identifizierbar ist, kann hingegen mittels O-EEG-Technik kaum dargestellt werden (BAGER ET AL. (1990)).

Der Aufzeichnung des Elektro-Corticogrammes (ECoG) ist ein Eingriff unter Narkose mit Eröffnung der Schädeldecke zur Platzierung der ableitenden Elektroden auf der *Dura mater* oder darunter vorangestellt. Die Potentialunterschiede bei ECoG sind größer (bei evozierten Potentialen rd. 7,5 fache Größe gegenüber dem EEG (GREGORY U. WOTTON (1983))), und die Aufzeichnung ist gegenüber dem EEG wesentlich empfindlicher - darüberhinaus erlaubt das ECoG eine Zuordnung der gemessenen Gehirnaktivität zu bestimmten Gehirnarealen (BLACKMOORE U. DELANY (1988)).

BAGER ET AL. (1990) empfahlen, aus Tierschutzgründen (Vermeidung der Implantationsoperation) das O-EEG vorzuziehen, wenn die Fragestellung dies erlaubt (beispielsweise für die grundsätzliche Feststellung eines GCA). BLACKMORE U. DELANY (1988) beschrieben alle drei Verfahren als über die generelle Feststellung des Vorhandenseins von generalisierter Anfallsaktivität hinaus in ihren Möglichkeiten begrenzt und bewerteten die Interpretation von EEG und ECoG insbesondere bezüglich des Endens des generalisierten cerebralen Anfalles als verhältnismäßig subjektiv, während hier dem Nachweis evozierter Potentiale eine größere Objektivierbarkeit zukäme.

LAMBOOIJ (1996a) stellte alternativ die Applikation der ECoG-Elektroden wenige Sekunden vor oder nach Beginn der Kopfdurchströmung mittels eines Nagelschußgerätes und einer Schußschablone vor. LAMBOOIJ, der in der Vergangenheit Untersuchungen nach konventioneller Elektrodenimplantation bei verschiedenen Tierarten durchführte (LAMBOOIJ (1981) bei Schafen und Rindern, LAMBOOIJ ET AL. (1985) bei Schweinen), bezeichnete dieses Verfahren als ausreichend genau (LAMBOOIJ (1996b)).

Ob das Gehirn trotz des elektrisch induzierten GCA eingehende Signale empfängt, sollte durch die Untersuchung der Auslösbarkeit „evozierter Potentiale (EP)“ im O-EEG (und ECoG) überprüft werden. Hierbei wird in visuell evozierte Potentiale (VEP) und elektrische Reizung in der Körperperipherie (somatosensorische evozierte Potentiale (SEP)) unterschieden (SCHÜTT-ABRAHAM (1994)). GREGORY U. WOTTON (1985) bezeichneten die anfallsweise mit extrem hoher Amplitude auftretenden VEP in ihrer Untersuchung an Schafen als „paroxismale visuell evozierte Potentiale“ (PVEP).

Anhand der EP konnte gezeigt werden, daß der GCA nicht zwangsläufig bewirkt, daß durch die elektrisch induzierte Hypersynchronie sämtliche afferenten Signale im Cortex aufgehoben werden (GREGORY U. WOTTON (1985)). Die Untersuchungen belegen bei einem Teil der Tiere (Geflügel (GREGORY U. WOTTON (1986, 1989), SCHÜTT-ABRAHAM (1994)); Schafe (GREGORY U. WOTTON (1983,1985))) die Auslösbarkeit

evozierter Potentiale mittels optischer, somatosensorischer und reiner Schmerzreize (isolierte elektrische Reizung des Zahnnerven (GREGORY U. WOTTON (1988)) trotz vorliegender hypersynchroner Aktivität in der Großhirnrinde. Evozierte Potentiale sind ebenfalls unter Narkosebedingungen auslösbar, ohne daß sie einer Weiterverarbeitung im Sinn von Interpretation und Bewußtwerdung unterliegen (GREGORY U. WOTTON (1988) nach Untersuchungen unter Halothannarkose, SCHÜTT-ABRAHAM (1994)). Es konnte nicht nachgewiesen werden, daß das Gehirn diese afferenten Signale verarbeiten oder speichern kann (GREGORY U. WOTTON (1985)). SCHÜTT-ABRAHAM erklärte zu der Nichtauslösbarkeit von EPs: "Ihr Ausfall bedeutet jedoch in jedem Fall eine tiefgreifende Störung des zentralen Nervensystems, die mit Bewußtsein nicht vereinbar ist" (SCHÜTT-ABRAHAM (1994)).

#### 2.3.4.3.1 Kriterien zur Interpretation von Gehirnstromaufzeichnungen

Ein Problem zusammenfassender Interpretation der mittels Gehirnstrommessungen gemachten Aussagen resultiert aus den unterschiedlichen Kriterien, die von verschiedenen Autoren zur Analyse des O-EEG oder ECoG eingesetzt wurden (NEWHOOK U. BLACKMORE (1982a, 1982b), BLACKMORE U. DELANY (1988)), sowie den unterschiedlichen Methoden zu ihrer Registrierung (s. Kap. 2.3.4.3). GREGORY U. WOTTON (1984b, 1985) bewerteten ihre EEG-Messungen anhand der Ableitungen desselben Tieres vor der Betäubung und definierten für die Untersuchung, daß ein GCA besteht, wenn die Amplitudenspitzen-Differenz größer als bei der Normal-Ableitung ist. COOK ET AL. (1995) setzten als Entscheidungsparameter für das Auftreten „epileptiformer Aktivität“ bei Schafen das Anwachsen der Amplitude auf ein Fünffaches der Amplitude im Normal-EEG (pre-stun) desselben Tieres fest und erfaßten nur die Zeitdauer hoher Amplituden. Von anderen Untersuchern wird die „Erschöpfungsphase“ oder „Ruhephase“ (niedrige Amplituden, niedrige Frequenz) in die angegebene Anfallsdauer ganz oder teilweise miteinbezogen (HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981, 1985)) oder das Frequenzspektrum in die Bewertung miteingebracht (FREESEMAN (1975)).

EEG-Aufzeichnungen normaler Gehirnaktivität werden nach Amplitudenhöhe und Frequenz unterschieden. Die Aufzeichnungen bei verängstigten oder erregten Rindern und Schafen (Alarmzustand) zeichnen sich beispielsweise durch hochfrequente Schwingungen (10-30 Hz) mit niedriger Amplitude (20-50 µV) aus. Demgegenüber steht eine „high-voltage-slow-activity“ (HVSA) bei entspannten, schlafenden oder betäubten Tieren mit hoher Amplitude und 1-3 Hz Frequenz ( CROFT (1952), RUCKE-BUSCH (1965), NEWHOOK U. BLACKMORE (1982a, 1982b)).

GAULTIEROTTI ET AL. (1942) untersuchten die Wirkung direkt im Gehirn angelegter elektrischer Ströme auf das EEG bei Hunden und Katzen. Die Arbeitsgruppe fand einen Zusammenhang zwischen den gereizten Gehirnarealen und den mittels EEG dargestellten Gehirnstromfrequenzen. Eine Zuordnung der Frequenzmuster im EEG zu verschiedenen Hirnarealen findet sich auch bei LOPES DA SILVA (1982). LAMBOOIJ (1975), HOENDERKEN (1978) und FREESEMANN (1975) unterteilten die Gehirnaktivitäten vor und nach Betäubung analog zu der humanmedizinischen Einteilung anhand ihrer Frequenzanteile in Wellenformen der alpha- (8-13 Hz), beta- (4-8 Hz), delta- (unter 4 Hz) und theta-Klasse (über 13 Hz). Welche Bedeutung den Frequenzanalysen zukommt, bleibt mangels noch ausstehender Grundlagenforschung jedoch unklar.

GREGORY gab an, daß eine kurze Zeitspanne zwischen Einschalten des Stromes und der Auslösung des GCA vergehen kann (GREGORY U. WOTTON (1985), GREGORY (1985)). Durch die relativ hohen bei der Betäubung angelegten Spannungen ist eine Darstellung der Potentialdifferenzmessungen im Microvoltbereich (EEG- und ECoG-Messungen) während der Durchströmung gegenwärtig technisch nicht möglich. In der Literatur finden sich daher keine Angaben zum exakten Zeitpunkt des Einsetzens des Anfalls oder dessen Ausbreitung während der Durchströmung. Auch Antworten auf die Fragen, ob die Spannungsdifferenz Spitzenwert-Spitzenwert entscheidend ist oder ob eine Impulssequenz oder Einzelimpulse den GCA auslösen, finden sich nicht in der Literatur.

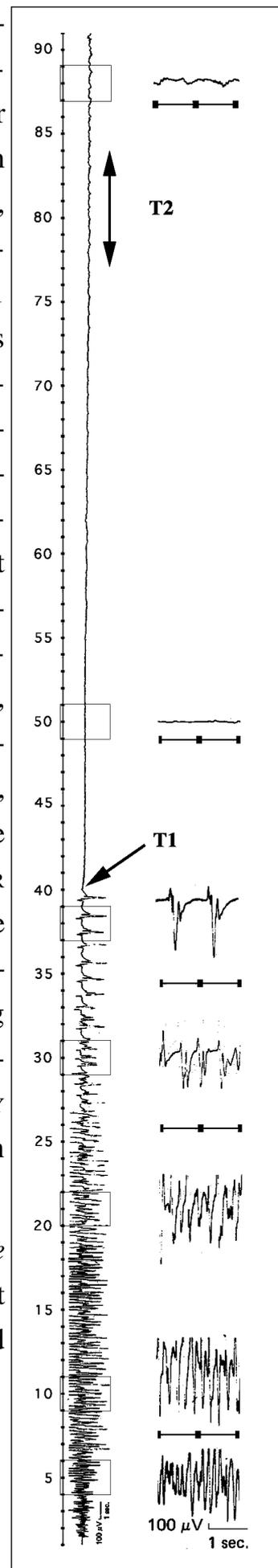
#### **2.3.4.4 Effektivität und Dauer elektrischer Betäubung**

Aus humanmedizinischen Untersuchungen an epilepsieerkrankten Menschen kann im Analogieschluß auf das Tier von einer Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit für die Dauer des elektrisch induzierten, generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) einhergehend mit dem Verlust cerebraler Regie ausgegangen werden (WARRINGTON (1974), LOPES DA SILVA (1982), GREGORY (1985), BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a)). Die Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit ist während der Phasen des elektrisch ausgelösten GCA ausgelöscht (MÜLLER (1970), HOENDERKEN (1978), ANIL ET AL. (1995a), WOTTON (1995)). Das "violent and stormy EEG" während der hyper-synchronen, überschießenden elektrischen Aktivität im Gehirn (bis T1 in Abb. 1) läßt eine geordnete Verarbeitung eingehender Signale aus der Peripherie unplausibel erscheinen (BLACKMORE U. DELANY (1988)). NEWHOOK U. BLACKMORE (1982a, 1982b) bestimmten die Spanne der Amplitudenhöhen im EEG bei unbetäubten Tieren und erklärten die Tiere für „sensible“, wenn die Ableitungen nach der Betäubung (wieder) in diesem Bereich lagen.

Der Anfall ist durch generalisierte hypersynchrone Aktionspotentiale und EEG-Ableitungen mit initial hoher und nach Abauf der tonischen Phase sinkender Frequenz mit einer in der tonischen Phase ansteigender Amplitude, die in der klonischen Phase erhalten bleibt, gekennzeichnet (HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981), WOTTON (1995)). Ein für die EEG-Ableitungen von HOENDERKEN (1978) typisches EEG ist in Abb.1 dargestellt. Die gemessenen hohen Amplituden resultieren aus der synchronen Aktivität einer großen Anzahl von Nervenzellen (FREESEMAN (1975)), die als Potentialunterschiede zwischen den Meß-Elektroden aufgezeichnet werden und mit dieser Amplitudenhöhe (infolge der Hypersynchronie) im „gesunden“ EEG nicht auftreten. Die elektrische Aktivität erstreckt sich auf das gesamte Gehirn, wobei insbesondere die Funktion übergeordneter Zentren gestört wird und diese nicht ihre normale Kontrollfunktion ausüben können (HOENDERKEN (1978), GREGORY U. WOTTON, (1985)). Bei ausreichend starker und frequenter Erregung bleibt der Ganglienzelle keine Möglichkeit, sich zwischen den einzelnen Entladungen zu erholen, und ihre Tätigkeit ist damit blockiert (PHYLLIPS (1961), zit. n. MÜLLER (1970), SPECKMANN U. STRAUB (1993)). Die hypersynchrone Phase mit hoher Amplitude dauert unterschiedlich (Tier / Tierart) lange an (Tab. 1-5) und geht dann über in eine Ableitung mit niederfrequenten Schwankung mit kleiner Amplitude (einer Art „Ruhephase“), deren Länge stark variiert (GREGORY (1985), BLACKMORE U. DELANY (1988) betonten den Einfluß von Untersucher und Untersuchungsmethode).

Der nach Ende des „*cacophonous electrical storm within the brain*“ (COOK ET AL. (1995)) beginnenden „Ruhephase“ folgt das Wiedererwachen des Tieres, sofern dieses nicht getötet wird

Abb.1: EEG-Aufzeichnung eines generalisierten cerebralen Anfalls (GCA) nach elektrischer Durchströmung (Elektrobetäubung). T1 bezeichnet das Ende der überschießenden generalisierten hypersynchronen Neuronenaktivität, T2 gibt den Bereich an, in dem das EEG nach einer „Ruhephase“ mit wenig elektrischer Aktivität in ein „Normal-EEG“ wie vor der Betäubung übergeht. Auf der linken Achse ist die Zeit aufgetragen, die ab Beginn der Aufzeichnung (nach Durchströmungsende) verstrichen ist. Charakteristische Ausschnitte für den Verlauf sind in Vergrößerung neben dem EEG hervorgehoben. (Abb. mod. nach HOENDERKEN (1978))



(CROFT (1952), HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981, 1982, 1985)). Evozierte Potentiale waren in diesem Stadium bei einem Teil der Tiere auslösbar (GREGORY U. WOTTON (1983,1985)). CROFT (1952) beschrieb gegen Ende der „Ruhephase“ Herzfrequenzanstiege infolge von Schmerzreizen („*cardiac pain-reflex*“), und ANIL (1991) stellte Reaktionen auf Reize an der Rüsselscheibe beim Schwein und ein Wiedereinsetzen der Atmung fest.

COOK ET AL. (1992, 1995) beschrieben nach ihren Untersuchungen an Schafen dieses Stadium als „*sensible*“, die Augenreflexe sind auslösbar und Reaktionen auf akustische und visuelle Reize feststellbar, die Schmerzempfindung sei jedoch bis zu 15min nach Betäubungsbeginn gestört. Die gleichen Autoren untersuchten die extrazellulären Neurotransmitterkonzentrationen im Gehirn und führten das Anhalten der gestörten Schmerzperzeption auf erhöhte extrazelluläre Gamma-Amino-Buttersäure-Konzentrationen (GABA) zurück. GABA hemmt die Erregungsausbreitung an neuronalen Rezeptoren im Gehirn und im Rückenmark und spielt wahrscheinlich eine Rolle bei der Eingrenzung und dem Abklingen des Anfalls (COOK ET AL. (1992, 1995), SPECKMANN U. STRAUB (1993), WOLFE U. GELDER (1993)).

Versuche von LEACH ET AL. (1980) an Schafen belegen, daß die Tiere, die elf Tage lang fünf Sekunden nach dem Aufblitzen eines Lichtreizes mittels Wechselstrom (50Hz, 90V, 3s - 15s Durchströmungsdauer) betäubt wurden, weder in der Zwischenzeit Lichtreiz-Betäubung, noch am zwölften Tag nach Lichtreiz ohne Betäubung, Herzfrequenz-erhöhungen als Streßreaktion zeigten. Die genannten Autoren schlossen daraus, daß die elektrische Betäubung für die Schafe in dem Versuch keine schmerzhaft Erfahrung gewesen sei.

BREAZILE ET AL. (1963) konditionierten Schafe, indem sie einer Sequenz von Klickgeräuschen einen Schmerzreiz folgen ließen. Als Zeichen der Reflexauslösung wurde die erhöhte Aktivität im Elektrocorticogramm, ein Blutdruck- und Herzfrequenzanstieg sowie weitere Blutparameter vor und nach der Betäubung herangezogen. Sie zeigten bei Schafen, daß dieser konditionierte Reflex nach der Betäubung für eine Zeitdauer von mindestens drei bis maximal zehn Minuten nicht auslösbar war. Sie stellten eine Abhängigkeit dieser Zeitdauer von der Betäubungsstromstärke fest.

FAHRBACH (1948) berichtete von Beobachtungen, daß wiedererwachte Tiere nach der Betäubung zum zweiten oder dritten Mal freiwillig ohne Zeichen von Beunruhigung an die Stelle der Betäubung gingen. Ein mangelndes Schmerzempfinden oder eine fehlende Erinnerung können aus dem Verhalten von mehrfach elektrisch betäubten

Tieren abgeleitet werden. WARRINGTON schränkte ein, daß die Tatsache, daß Tiere nach Wiedererwachen den Ort der Betäubung nicht meiden, ebenso auf dem Verlust einer Erinnerung an erlittene Schmerzen infolge retrograder Amnesie beruhen könnte (WARRINGTON (1974)).

Beim Menschen ist eine retrograde Amnesie im Zusammenhang mit epileptischen Grand-mal-Anfällen häufig, so daß eine erinnerte Schmerzlosigkeit respektive eine mangelnde Konditionierung (LEACH ET AL. (1980)) oder auch die Nichtauslösbarkeit eines konditionierten Reflexes (BREAZILE ET AL. (1963)) sich ebenfalls mit mangelnder Erinnerung erklären ließe (WARRINGTON (1974), BLACKMORE U. DELANY (1988)).

#### **2.3.4.5 Die Dauer des generalisierten cerebralen Anfalls (GCA)**

In den Tabellen 1-5 sind die verschiedenen Untersuchungsergebnisse unter Verwendung von O-EEG und ECoG aufgelistet. Die Angaben zur Dauer der GCA-Ableitungen (entspricht T1 in Abb. 1) und seiner Mindestlänge können in der dritten und fünften Spalte abgelesen werden. Spalte vier gibt die Zeitdauer bis zu „isoelektrischer Ableitung“ (keine meßbaren Potentiale oder Potentiale unterhalb einer durch die Untersucher gesetzten Schwelle) wieder.

Bezüglich der Länge der GCA bestehen beträchtliche Unterschiede zwischen den Angaben für verschiedene Tierarten. Auch innerhalb einer Spezies werden unterschiedlich lange Anfallsdauern bei vergleichbaren Untersuchungsbedingungen angegeben. GREGORY (1985) resümierte, „*a striking feature of the epileptiform phase is its variable duration*“. Die unterschiedliche Länge der GCA fand auch WARRINGTON (1974) „*erstaunlich und schwer erklärlich*“. BLACKMORE U. DELANY (1988) verwiesen darauf, daß hierfür - neben Meßungenauigkeiten des Verfahrens - unterschiedliche Beurteilungskriterien für den eigentlichen Anfall, die Dauer der Erholungsphase und den Beginn der isoelektrischen Ableitung verantwortlich sind (Kap.2.3.4.3.1). Dem liegt u.a. eine unterschiedliche Definition des Anfallbegriffs nach elektrischer Betäubung zugrunde. Beispielsweise faßte HOENDERKEN (1978) die „*Uitputtingsphase*“ (Erschöpfungsphase; T1 bis T2 in Abb.1) als Teil des Anfalls auf, während bspw. die Arbeitsgruppe um COOK die Dauer mit überschießenden Amplituden im EEG (bis T1 in Abb. 1) als GCA ansehen. BAGER ET AL. (1990) bewerteten eine exakte zeitliche Einordnung der anschließenden „Erschöpfungs- oder Ruhephase“ sowie des Eintretens „isoelektrischer Ableitungen“ aufgrund der Störungsanfälligkeit von Gehirnstromaufzeichnungen beim Tier als schwierig. Teilweise fehlten in der Dokumentation der Untersuchungen auch Angaben zu verwendeten Interpretationskriterien der Gehirnstromaufzeichnungen, den verwendeten Strömen und den Stromformen.

Anhand der Tabellen 1-5 lassen sich dennoch einige spezieübergreifende Eckpunkte der Elektrobetäubung aufzeigen.

- Es wurde oberhalb einer Mindeststromflußdauer zur Auslösung des GCA keine Korrelation zwischen der Dauer der Kopf-Durchströmung und der Dauer des Anfalls nachgewiesen.

Ausnahme: COOK ET AL. (1995) fanden beim Schaf eine statistisch signifikante Verkürzung der Anfallsdauer nach 0,2s und 20s Kopfdurchströmung im Vergleich zu 4s bis 12s Durchströmung mit AC\_1,0A\_50Hz\_H (Abb. 2).

- Es wurde oberhalb einer Mindeststromstärke kein Zusammenhang zwischen der Stromstärke der Kopf-Durchströmung und der Dauer des GCA nachgewiesen. Ausnahme: GREGORY ET AL. (1996) fanden bei Kälbern längere Anfälle nach 3s Durchströmung mit AC\_150V als mit AC\_250V. Kein signifikanter Unterschied bestand in der Dauer bis zum Aufstehen der Kälber.

- Ein zweiter Anfall, der nach einer Pause von mehreren Minuten erneut bei einem Tier ausgelöst wird, unterscheidet sich bezüglich Dauer und Amplitude im EEG nicht auffallend von dem vorangegangenen.

- Der Zeitpunkt der Entblutung hat signifikanten Einfluß auf die Dauer des GCA. Bei Versuchen mit Erholung der Tiere oder spätem Stechen (später als 13s-14s nach dem Betäubungsbeginn (GREGORY U. WOTTON (1984b))) sind die Mittelwerte der Anfallsdauer um 50-100% länger als bei Stechen innerhalb von 10s nach Betäubungsbeginn.

In der vergleichenden Untersuchung verschiedener Entblutezeitpunkte von GREGORY U. WOTTON (1984b) steht eine mittlere Anfallsdauer von  $50 \pm 20$  (N=30 Sf;  $\pm$ SD) bei Stechen 40s nach Betäubungsbeginn einer mittleren Anfallsdauer von  $21 \pm 5$  (N=30 Sf;  $\pm$ SD) bei Stechen innerhalb von 10s gegenüber.

- Die Auslösung von Herzkammerflimmern (Hirn-Herz-Durchströmung, head-to-back-stunning) hat Einfluß auf die Dauer des Anfalles.

Bei Versuchen mit Erholung der Tiere war die Anfallsdauer im Mittel rund ein- einhalbmal so lang wie bei Auslösung von Herzkammerflimmern.

Im Vergleich zwischen Stechen innerhalb von 10s nach Betäubungsbeginn und mit der Betäubung einhergehender Auslösung von Kammerflimmern wurde von GREGORY U. WOTTON (1984b) an Schafen festgestellt, daß cerebrale Hypoxie infolge frühen Stechens früher eintrat (innerhalb von  $10s \pm 4$  nach dem Stechen) als bei der Auslösung von Herzkammerflimmern ( $23s \pm 8$ ). Die Autoren zogen daraus den Schluß, daß ein Verfahren zur Auslösung von Kammerflimmern angewendet werden sollte, wenn ein Stechen innerhalb von 10-12s nach Betäubungsbeginn nicht sicherzustellen ist.

Autoren	Tierart	Anfallsdauer general. cerebraler Anfall Mittel±SD (Min-Max)	(s) ab Betäubungs-		Messung	Stromanangaben
			Beginn	Minimum Seizures (s)		
Anil und McKinstry (1991)	12 Sf	13±2,5	24±12,7	8	EEG • ECoG	AC/DC_Voltzahl/Stromstärke_Frequenz_Durchströmungsdauer _H=Hirn; HH=Hirn-Herz (wenn Angabe vorhanden)
Anil et al. (1995a)	7 K	16±4,3 <sup>A</sup> (8-22)	80±33,8 <sup>A</sup> (44-156)	8	ECoG	AC_300V_50Hz_HH
Anil et al. (1995b)	10 K	24,3±6,6 <sup>A</sup> (18-24) (21-37)	59,7±33,8 (36-127) (36-60)	18	ECoG	AC_150V_50Hz_7s_H
Bager et al. (1990)	10 K	22,7±3,5° (N=9) 26,1±3,6° <sup>oo</sup> 22,3±2,9° 26,4±4,1° <sup>oo</sup>	45±12,3°  88±18,3°	19,2 <sup>B</sup>	EEG vs. ECoG	AC_1,5A_50Hz_4s_H  °mit Entblutung nach 10s  °°mit Erholung
Bager et al. (1992)	15 K	29±1,4° (N=8) 22±1,2° <sup>oo</sup> (N=9) 23±1,1° <sup>oo</sup> (N=6)	- 58±5° <sup>ooA</sup> (N=8) 64±9° <sup>oo</sup> (N=5)	20,8 <sup>B</sup>	ECoG	AC_1,5A_50Hz_4s_H  °mit Erholung °°erneute Bet. & Entbl. n. 10s °°°einmal Bet. & Entbl. n. 10s
Blackmore und Newhook (1982b)	6 Sf 4 Sf 7 K	(18-42)(N=6) - (36-61)(N=3) kein Kammerflimmern!	- (40-51)(N=4) (40-135)(N=4)	18 - 36	EEG	AC_300V_50Hz_5s_H (mit Erholung) AC_300V_50Hz_5s_HH (Head-to-back-Methode) AC_300V_50Hz_5s_HH (Head-to-back-Methode) (N=3) hatten kein Kammerflimmern!

A) Berechnung aus veröffentlichten Ergebnissen

B) Mittelwert minus Standardabweichung

C) Ermittelt aus einer grafischen Darstellung

Abkürzungen:

Sf=Schaf;

Rd=Rind; K=Kalb;

Sw=Schwein

### TAB. 1

EEG / ECoG

Rind & Schaf

Autoren	Tierart	Anfallsdauer general. cerebraler Anfall Mittel±SD (Min-Max)	(s) ab Betäubungs-		Messung	Stromanangaben
			Isoelektrische Ableitung nach (Min-Max)	Beginn Minimum Seizures (s)		
Cook et al. (1992)	N  10 Sf	27,3±9,8 <sup>1a</sup> 24,9±7,4 <sup>1b</sup> 25,7±9,9 <sup>2a</sup> 28,8±8,7 <sup>2b</sup> 25,7±10,9 <sup>3a</sup> 21,9±8,8 <sup>3b</sup> 22,2±2,5 <sup>4a</sup> 20,6±3,4 <sup>4b</sup>	-	17,5 <sup>B</sup>  für den ersten Durchgang	EEG • ECoG  EEG	AC/DC_Voltzahl/Stromstärke_Frequenz_Durchströmungsdauer _H=Hirn; HH=Hirn-Herz (wenn Angabe vorhanden)  AC_1,5A_50Hz_4s_H  <sup>1a-4a</sup> Betäubungsdurchgänge ohne Schlachtung <sup>1b-4b</sup> Anschließende erneute Betäubung (Keine An- gaben zur Pause) ohne Schlachtung
Cook (1993)	Sf Rd	(19-68)		19	EEG	Stromparameter nicht angegeben; alleinige Hirndurchströmung; gleiche Abbildungen wie Gilbert (1993)
Cook et al. (1995)	17 Sf	(25-32) <sup>c</sup>		25	EEG	AC_1,5A_50Hz_2-20s_H Verschiedene Durchströmungsdauern wurden bei alleiniger Hirndurchströmung untersucht: 2-20s erbrachten effektive Betäubungsergebnisse anhand EEG mit Seizure-Dauer zwischen 25s und 32s.
Devine et al. (1985)	Sf Rd	(34-45) 45		34	EEG	Stromparameter nicht angegeben; alleinige Hirndurchströmung
Devine et al. (1986a)	14 Sf 5 K	39±14° (N=8) 48,8±13,4° (N=6) 22,8±3,9° (18-26s)° 33,3±7,4° (24-52)°°	53,8±8,1° (N=8) - 92±37,9° (57-160)° -	25 <sup>B</sup>  18 24	EEG	AC_1,0A_50Hz_4s_H  °mit Entblutung nach 10s °°mit Erholung  Wiederholte Betäubungen bei 5 K

A) Berechnung aus veröffentlichten Ergebnissen  
B) Mittelwert minus Standardabweichung  
C) Ermittelt aus einer grafischen Darstellung

Abkürzungen:  
Sf=Schaf;  
Rd=Rind; K=Kalb;  
Sw=Schwein

**TAB. 2**  
EEG / ECoG  
Rind & Schaf

Autoren	Tierart	Anfallsdauer general. cerebraler Anfall Mittel±SD (Min-Max)	(s) ab Betäubungs-		Messung	Stromanangaben
			Isoelektrische Ableitung nach (Min-Max)	Beginn Minimum Seizures (s)		
Devine et al. (1987)	8 K	22,5±4,5 <sup>A</sup> (17-30) <sup>o</sup>	-	17	EEG • ECoG	AC/DC_Voltzahl/Stromstärke_Frequenz_Durchströmungsdauer _H=Hirn; HH=Hirn-Herz (wenn Angabe vorhanden)
	5 K	33,6±3 <sup>A</sup> (28-37) <sup>oo</sup>	-	28		°mit Entblutung nach 10s °°mit Erholung
Gilbert (1993)	Sf Rd	(19-68)	-	19	EEG	Stromparameter nicht angegeben; alleinige Hirndurchströmung; gleiche Abbildungen wie Cook (1993)
Gregory und Wotton (1984b)	30 Sf	50±20		30 <sup>B</sup>	EEG	AC_300V_50Hz_3s_H ---- Stechen nach 40 s
	30 Sf	21±5		16 <sup>B</sup>		AC_300V_50Hz_3s_H ---- Stechen nach 10 s
	30 Sf	23±8		15 <sup>B</sup>		AC_377V_50Hz_3s_HH (Head-to-back-Methode)
Gregory und Wotton (1985)		56±6' (N=8)		50 <sup>B</sup>	ECoG	' Reaktion auf Lichtreiz (PVEP)
	22 Sf	65±3" (N=4)	-	62 <sup>B</sup>		" keine Reaktion auf Lichtreiz (alle mit Erholung)
		42±7''' (N=10)		35 <sup>B</sup>		''' keine Reizung mit Lichtblitzen
Gregory und Wotton (1988)	24 Sf	39±20	-	19 <sup>B</sup>	ECoG	AC_150V_50Hz_3,5s_H (ohne Schlachtung)
Gregory et al. (1996)	9 K	36±3 (26-54)	-	26	ECoG	AC_150V_50Hz_3s_H (ohne Schlachtung)
	10 K	25±2 (18-41)	-	18		AC_250V_50Hz_3s_H (ohne Schlachtung)

<sup>A)</sup> Berechnung aus veröffentlichten Ergebnissen

<sup>B)</sup> Mittelwert minus Standardabweichung

<sup>C)</sup> Ermittelt aus einer grafischen Darstellung

Abkürzungen:

Sf=Schaf;

Rd=Rind; K=Kalb;

Sw=Schwein

### TAB. 3

EEG / ECoG

Rind & Schaf

Autoren	Tierart	Anfallsdauer general. cerebraler Anfall Mittel±SD (Min-Max)	(s) ab Betäubungs-		Messung	Stromanangaben
			Isoelektrische Ableitung nach (Min-Max)	Beginn Minimum Seizures (s)		
	N				EEG • ECoG	AC/DC_Voltzahl/Stromstärke_Frequenz_Durchströmungsdauer _H=Hirn; HH=Hirn-Herz (wenn Angabe vorhanden)
	67 Sf	43±16		22		AC_0,2A-0,4A_50Hz_1s_H (ohne Schlächtung)
Lambooij (1982)	18 Sf	39±16		23 <sup>B</sup>		AC_300V_50Hz_1s_H (ohne Schlächtung)
Lambooij et al. (1983)	10 Sf	36±12	-	24 <sup>B</sup>	ECoG	AC_300V_50Hz_3s_H (ohne Schlächtung)
	7 Sf	66±17		49 <sup>B</sup>		AC_600V_50Hz_1s_H (ohne Schlächtung)
	11 Sf	37±9		28 <sup>B</sup>		AC_600V_50Hz_2s_H (ohne Schlächtung)
	6 Sf	32±6		26 <sup>B</sup>		AC_600V_50Hz_3s_H (ohne Schlächtung)
	47 K	41±7,5		21		AC_0,8A-1,0A_50Hz_1s_H (ohne Schlächtung)
Lambooij (1981)	7 K	33±8		25 <sup>B</sup>		AC_600V_50Hz_1s_H (ohne Schlächtung)
Lambooij und Spanjaard (1982)	8 K	38±10		28 <sup>B</sup>	ECoG	AC_600V_50Hz_2s_H (ohne Schlächtung)
	5 K	37±13	-	24 <sup>B</sup>		AC_300V_50Hz_2s_H (ohne Schlächtung)
	2 K	38		-		AC_300V_50Hz_4s_H (ohne Schlächtung)
	5 K	24±2		22 <sup>B</sup>		AC_600V_50Hz_1s-2s_HH (mit anschl. Schlächtung)
Lambooij et al. (1985)	8 K	44±6		38 <sup>B</sup>	EEG	AC_300V_50Hz_1,0s-3,0s_H (ohne Schlächtung)
	9 Sf	32±9		21 <sup>B</sup>		

- A) Berechnung aus veröffentlichten Ergebnissen  
B) Mittelwert minus Standardabweichung  
C) Ermittelt aus einer grafischen Darstellung

Abkürzungen:  
Sf=Schaf;  
Rd=Rind; K=Kalb;  
Sw=Schwein

**TAB. 4**  
EEG / ECoG  
Rind & Schaf

Autoren	Tierart	Anfallsdauer general. cerebraler Anfall Mittel±SD (Min-Max)	(s) ab Betäubungs-		Messung	Stromanangaben
			Anfallsdauer	Isoelektrische Ableitung nach (Min-Max)		
Anil und McKinstry (1992)	N  3 Sw	22 31 28	-		EEG • ECoG	AC/DC_Voltzahl/Stromstärke_Frequenz_Durchströmungsdauer _H=Hirn; HH=Hirn-Herz (wenn Angabe vorhanden)
Hoenderken (1978)	328 Sw  20 Sw	- -	66±13,8  23,4±7,7	32  15,7 <sup>B</sup>	ECoG  EEG	AC_146V_1592Hz_3s_H (ohne Schlachtung)  AC_(>1,25A)_50Hz_(>1s)_H bei Kammerflimmern durch die Betäubung (synchrone Hirn-Herdurchströmung)
Lambooij et al. (1985)	10 Sw	61±13	-	48 <sup>B</sup>	EEG	AC_300V_50Hz_1,0s-3,0s_H (ohne Schlachtung)
Schütt- Abraham et al. (1983)	10 Sw  10 Sw	27±4,8 <sup>A</sup> (17-34)  28±1,2 <sup>A</sup> (28-29) (N=4)	(≥50-190) (N=7)  (39-≥125) (N=5)	<u>17</u>  28	EEG  EEG	AC_300V_50Hz_2s_H (Erst- und Zweitbetäubungen)  AC_70V_50Hz_10s_H (Erst- und Zweitbetäubungen) (Es zeigten nur 5 Tiere Epilepsie)
Swatland et al. (1984)	11 Sw	34,8±12,4 <sup>'</sup>	-	22,4 <sup>B</sup>	ECoG	AC_320V_50Hz_10s_H (mit anchl. Schlachtung)

- A) Berechnung aus veröffentlichten Ergebnissen  
B) Mittelwert minus Standardabweichung  
C) Ermittelt aus einer grafischen Darstellung

Abkürzungen:  
Sw=Schwein

**TAB. 5**  
EEG / ECoG  
beim Schwein

### 2.3.5 Untersuchungen zur Ausschüttung von Neurotransmittern und Hormonen bei der Elektrobetäubung

SIEGESMUND ET AL. (1967) konnten an Biopsien von elektrisch gereizten Cortexzellen beim Affen zeigen, daß die Anzahl mikroskopisch nachweisbarer Vesikel in den Nervenzellsynapsen nach elektrischer Reizung abnimmt. Diesen Effekt stellten die Autoren bereits bei einer Stromdichte von  $400\mu\text{A}/\text{cm}^2$  fest.

In der Untersuchung von COOK ET AL. (1992) konnte an Schafen nach Kopfdurchströmung für 0,1-40s (AC\_1,0A\_50HzSinus\_H) gezeigt werden, daß nach Stromflußzeiten ab 0,2s zwar sicher einen generalisierter cerebraler Anfall (GCA) ausgelöst wurde, dessen Dauer jedoch gegenüber der Anfallsdauer nach 2s bis 20s Kopfdurchströmung verkürzt war. Die Messung der extrazellulären Menge von Aspartat und Glutamat (Neurotransmitter, denen eine epilepsieerhaltende oder auslösende Rolle in Bezug auf den epileptischen Anfall zugesprochen werden) ergaben für 100ms Durchströmungsdauer signifikant niedrigere Werte und für unter 1,0s gegenüber 1,0-20,0s ebenfalls erniedrigte Neurotransmitter-Konzentrationen (COOK ET AL. (1992, 1995)) (Abb. 2 re.). Die Ergebnisse aus ihren Untersuchungen zu Neurotransmitterausschüttungen (Gamma-Amino-Buttersäure (GABA), Glycin (ebenfalls ein inhibitorischer Neurotransmitter), Aspartat und Glutamat) und der korrespondierenden EEG-Aufzeichnung wiesen darauf hin, daß bei sehr kurzen Stromflußzeiten unter 200ms bei 1,0A Stromstärke ein unvollständiger und verkürzter oder möglicherweise nicht generalisierter, cerebraler Anfall ausgelöst wurde. Zwischen 0,2s und 4s Durchströmungsdauer mit den genannten Stromparametern stieg die Zeitdauer des Anfalles bis auf ein Maximum von 32s an (COOK ET AL. (1995)). Oberhalb von 4,0s Durch-

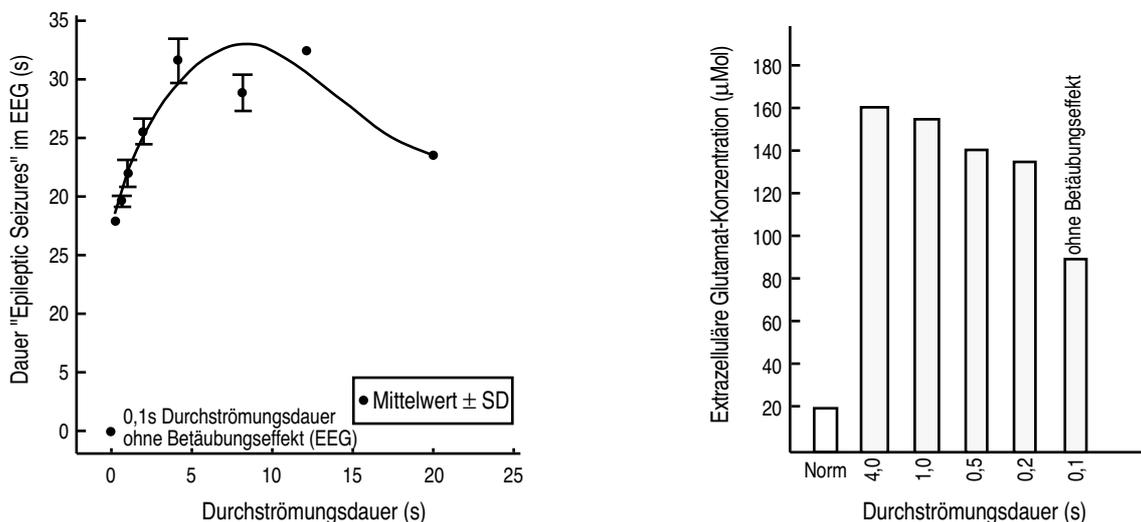


Abb.2 : **li**: Dauer der generalisierten cerebralen Anfälle nach verschiedenen Durchströmungszeiten mit 1,0 Ampere beim Schaf; **re**: Korrespondierende extrazelluläre Glutamatkonzentration im Gehirn bei unterschiedlich langer Durchströmung (mod. nach Cook (1992, 1995))

strömungszeit wurde durch längere Durchströmung keine weitere Verlängerung des Anfalles registriert. Eine Durchströmungsdauer über 20,0s führte zu einer verkürzten Gesamtdauer des Anfalles. Gleichzeitig durchgeführte Messungen der extrazellulären Neurotransmitter-Konzentrationen belegten deutliche Unterschiede zwischen Kopfdurchströmungszeiten unter- und oberhalb von 2s (COOK ET AL. (1992))(Abb.2 li.).

Die Autoren sprachen GABA eine eingrenzende Wirkung auf die Anfallsaktivität im Gehirn und die Hauptrolle bei den im Anschluß an die hypersynchrone Phase beobachteten Analgesieerscheinungen zu. Die Gabe von GABA-Antagonisten führte zu verlängerter Dauer der GCA (T1 in Abb. 1) und früher feststellbarer Reflektorik, bei GABA-Agonisten resultierten verkürzte Seizure-Dauer und späteres Auftreten von Reflexen (COOK ET AL. (1992)). Die Konzentration der im Gehirn und Rückenmark exzitationshemmend wirkenden Neurotransmitter Gamma-Amino-Buttersäure (GABA) und Glycin stieg mit einer leichten Verzögerung gegenüber Aspartat und Glutamat an (COOK (1992), Abb. 3).

ANIL ET AL. (1990) fanden im Plasma von Schafen nach Elektrobetäubung und Erholung einen Anstieg von Beta-Endorphin. Die Autoren werteten dies als Anzeichen dafür, daß die Elektrobetäubung einen starken Stressor darstelle und ein Wiedererwachen aus der Betäubung grundsätzlich vermieden werden sollte.

TROEGER U. WOLTERS DORF (1988a) stellten einen starken Anstieg von Adrenalin und Noradrenalin nach Elektrobetäubung im Blut von Schweinen fest. Die Freisetzung habe Einfluß auf den Blutdruckanstieg und den erhöhten Stoffwechselumsatz der Muskulatur nach der Elektrobetäubung (WOLTERS DORF U. TROEGER (1987a), TROEGER U. WOLTERS DORF (1988a, 1989a, 1989b), TROEGER (1990, 1991).

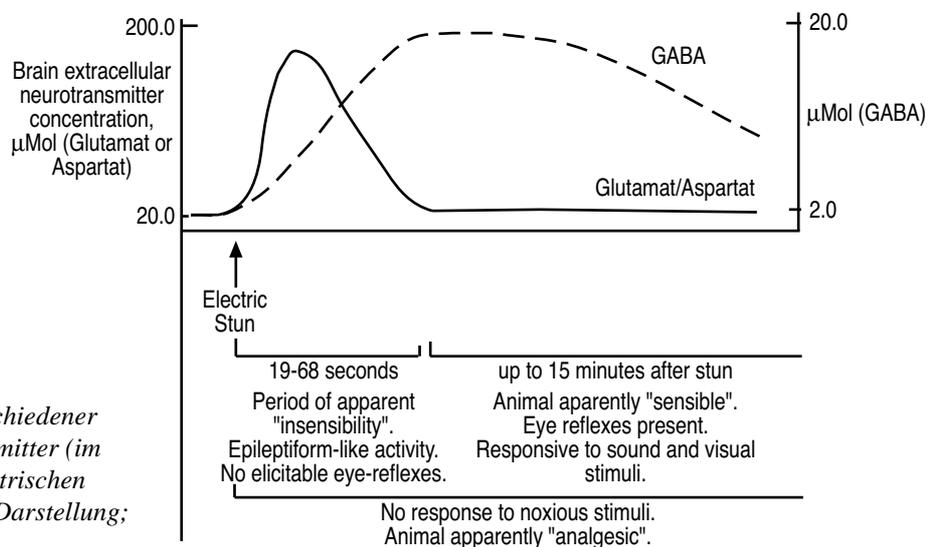


Abb 3.: Konzentration verschiedener extrazellulärer Neurotransmitter (im Liquor) im Verlauf der elektrischen Betäubung (Schematische Darstellung; aus Cook (1993))

### 2.3.6 Die Wirkung der elektrischen Betäubung auf den Blutkreislauf

Im Zusammenhang mit der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen (rd. 120 kg KG) kam es bei Untersuchungen von SCHIEFER ET AL. (1976) immer zu einem Blutdruckanstieg (*A. femoralis*; direkte Methode) während der Durchströmung. Allerdings stellten die Autoren große individuelle Schwankungen fest. Parallel zum Blutdruckanstieg erfolgte eine Herzfrequenzerhöhung auf bis zu 186 Prozent der Normalfrequenz zum Zeitpunkt der Entblutung rd. 25s nach Betäubungsbeginn (SCHIEFER ET AL. (1977)). Nach dem Entblutestich sank der Blutdruck kontinuierlich innerhalb von 50s bis auf 75mmHG, und die Herzfrequenz sank innerhalb von rd. 200s nach Betäubungsbeginn auf den Ausgangswert (ca. 120 Schläge/min)(Abb. 4).

GREGORY (1985) berichtete, daß es bei Vagus-Reizung durch den Betäubungsstrom zu einem Abfall von Herzfrequenz und Blutdruck kommt. Reflektorisch stiegen nach Ende der Durchströmung beide Parameter wieder an. Auch die Ausschüttung von Catecholaminen, deren Anstieg mit einer leichten Verzögerung nach der Durchströmung im Blut von Schlachtschweinen nachgewiesen wurde, spielt eine Rolle bei Herzfrequenz- und Blutdruckanstieg nach der Durchströmung (TROEGER U. WOLTERS-DORF (1988a), TROEGER (1990, 1991)).

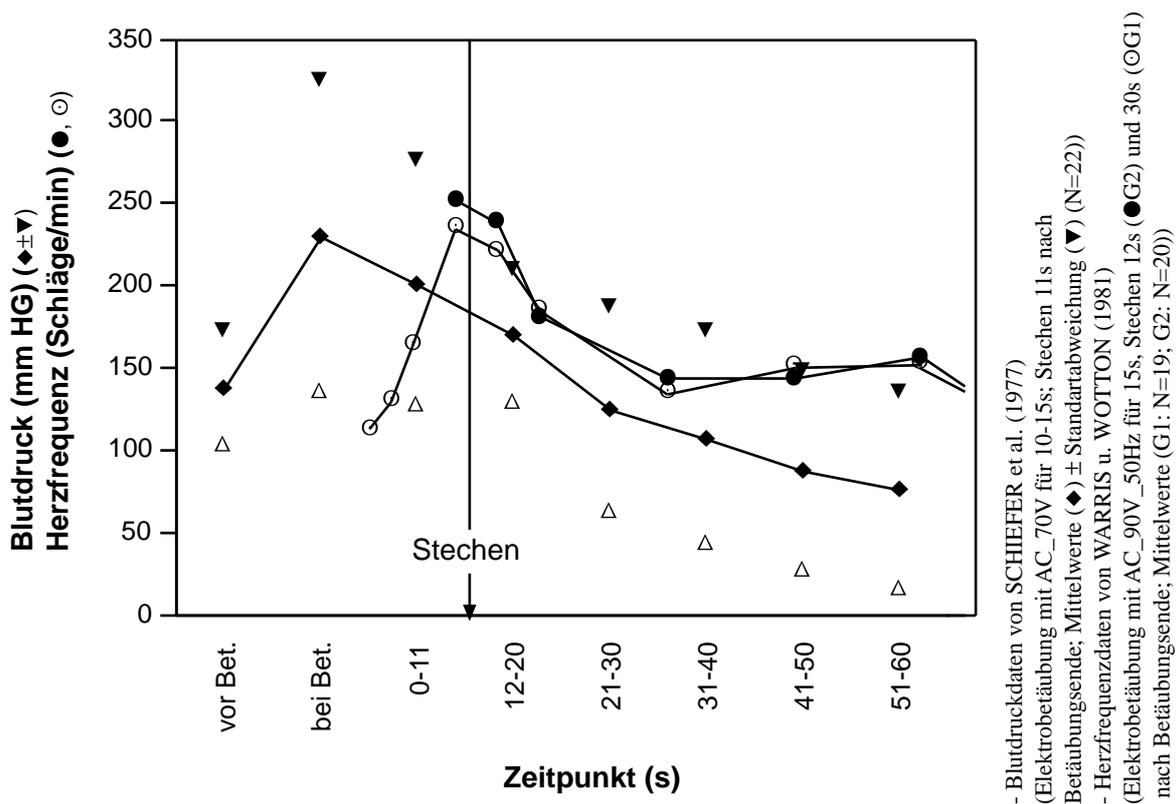


Abb. 4: Verlauf von Blutdruck und Herzfrequenz im Zusammenhang mit elektrischer Betäubung und Entblutung beim Schwein. (nach Ergebnissen von SCHIEFER ET AL.(1977) und WARRIS U. WOTTON (1981))

WARRIS U. WOTTON (1981) fanden bei ihren Untersuchungen an Schweinen (38 Schweine mit 60 kg KG, AC\_90V\_50Hz für rd. 15s) 25s nach der Betäubung Herzfrequenzen von ca. 111 Schlägen/min, die bis zum Stechen auf mehr als das Doppelte anstiegen (ca. 240 Schläge/min). Die Herzfrequenz nahm innerhalb von 30s nach dem Stechen (75s nach Betäubungsbeginn) rasch ab (bis ca. 145 Schläge/min), und sank dann innerhalb von 150s (225s nach Betäubungsbeginn) auf Frequenzen um 110 Schläge/min (Abb. 4).

KIRTON ET AL. (1978) stellten an 9 Schafen (AC\_200V\_1s\_H, ohne Schlachtung) einen raschen Blutdruckanstieg (*A. femoralis*; direkte Methode) innerhalb der ersten 5s nach Betäubungsbeginn auf mehr als den doppelten Normalwert fest (von 90mmHG auf 250mmHG), und der Blutdruck erreichte Maxima um 350mmHG. Für die Betäubung mit Entblutung (AC\_200V\_1s\_H (N=5)) ermittelte die Arbeitsgruppe ein Ansteigen des Blutdruckes während der Betäubung, das sich nach dem Stechen fortsetzte (unabhängig davon, ob das Stechen unmittelbar, 1s, 3s, 12s oder 13s nach Betäubungsende durchgeführt wurde). GILBERT U. DEVINE (1982) ermittelten ähnliche Ergebnisse sowohl für alleinige Kopfdurchströmung als auch bei „Head-to-back“-Betäubung und Schlachtung von Schafen. In einer späteren Studie fanden KIRTON U. FRAZERHURST (1983) einen Einfluß des Entblutezeitpunktes auf die Größe und Ausprägung von Blutpunkten in der Muskulatur bei Lämmern und Schafen, den sie auf die angesprochenen Blutdruckveränderungen zurückführten. Bei transversaler Schnittführung mit Eröffnung aller Gefäße am Hals und Durchtrennung von *Oesophagus* und *Trachea* unmittelbar nach Ende der Durchströmung war die Ausprägung und Häufigkeit von Blutpunkten geringer als bei Stechen 5-8s nach Durchströmungsende.

LEACH U. WARRINGTON (1976) untersuchten den Einfluß der elektrischen Betäubung auf die Herzfrequenz von Schafen (N=8) mittels EKG und stellten nach der Kopfdurchströmung (AC\_90V\_50Hz für 15s) Frequenzsteigerungen bis auf ein Maximum bei rd. 300 Schlägen/min (ausgehend von rd.100 Schlägen/min) innerhalb von 70s nach Betäubungsbeginn resp. 30s nach dem Stechen fest. Das Maximum der Herzfrequenz nach Betäubung korrelierte mit der Herzfrequenz vor der Betäubung.

LAMBOOIJ kam nach der Untersuchung des Herzfrequenzverlaufes an 22 Schafen, die mit AC\_300V\_50Hz\_H mit Stromflußdauern von 1-3s betäubt wurden, ohne entblutet zu werden, zu folgenden Ergebnissen: 30s nach Betäubungsbeginn stellte er im Mittel Herzfrequenzen von 280 Schlägen/min fest, es folgte ein langsames Absinken auf ca. 130 Schläge/min bis 4min nach Betäubung, dann begann ein erneuter Anstieg der Herzfrequenz auf bis zu 160 Schlägen/min (LAMBOOIJ (1982)).

BAGER ET. AL untersuchten bei Kälbern, inwieweit im Zusammenhang mit der Elektro-  
betäubung die arterielle und venöse Blutversorgung des Gehirnes beeinflußt wird.

Bei Kälbern (ohne Schächtung) stellten sie keinen direkten Zusammenhang zwischen  
EEG-Aktivität (Amplitudenhöhe und -frequenz im EEG) im Verlauf des generalisier-  
ten cerebralen Anfalls (GCA) und dem intracerebralen Blutdruck bei der Betäubung  
fest (BAGER ET. AL (1988)).

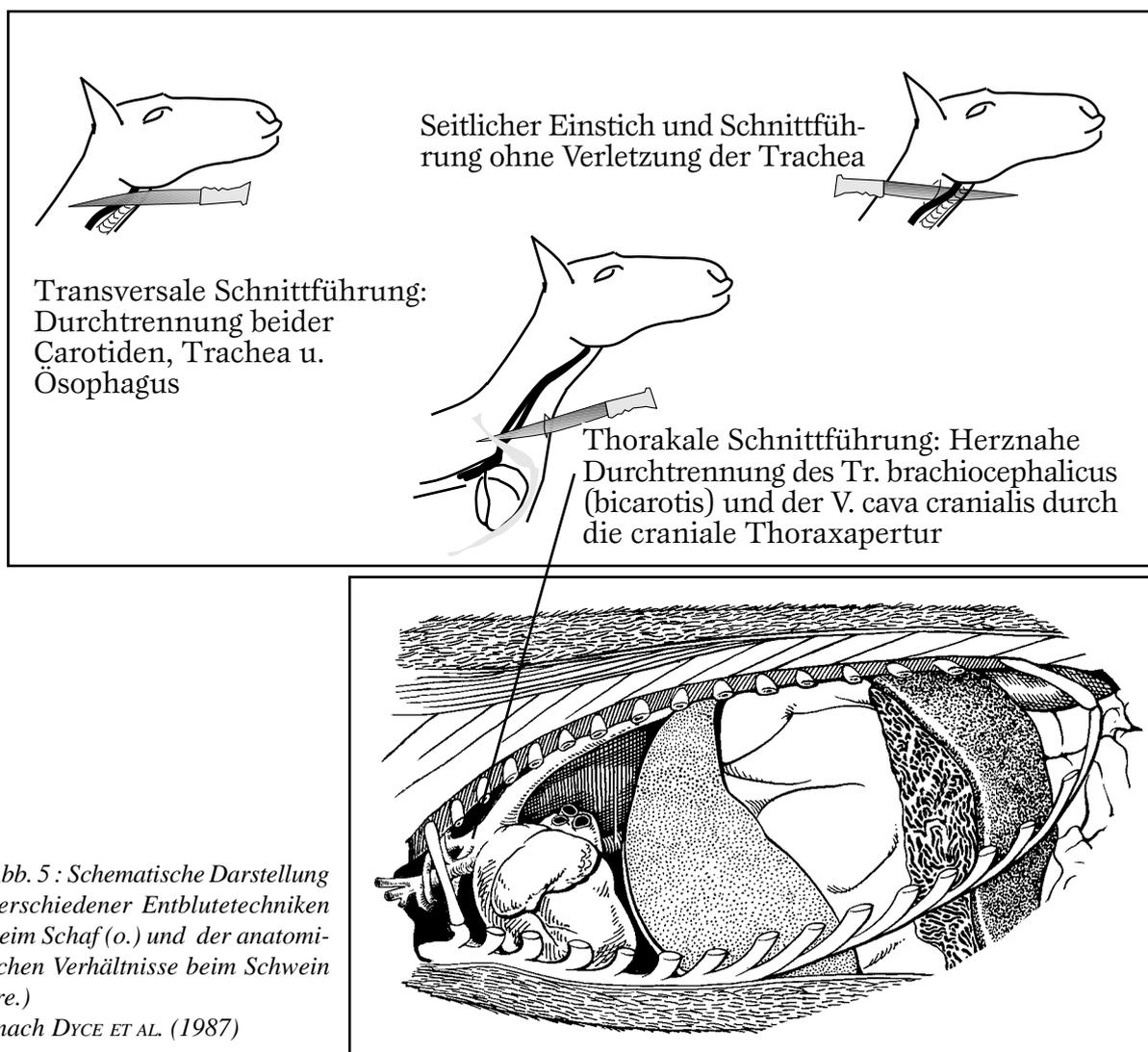
In einer zweiten Studie untersuchten die Autoren u. a. den Sauerstoff- und Kohlen-  
dioxidpartialdruck im arteriellen (*A. femoralis*) und venösen Blut (*Sinus frontalis*  
*saggitalis*) nach Betäubung (N=8), Betäubung und Entblutung (N=13; Stechen jeweils  
10s nach Betäubungsbeginn) und nach Entblutung ohne Betäubung (N=6). Wurde das  
Kalb nach elektrischer Betäubung nicht entblutet (Erholung), war ein leichter Anstieg  
der arteriellen Sauerstoffspannung einhergehend mit gleichbleibenden venösen Wer-  
ten feststellbar. Sie stellten fest, daß es bei der Kombination Betäubung mit Stechen  
zu einem raschen und kontinuierlichen Abfall vor allem in den ersten 100s nach der  
Betäubung des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes und einem etwas langsameren  
Abfall im venösen Blut kommt. Demgegenüber war bei einem Entbluten ohne Be-  
täubung (Schächten) ein initialer Anstieg der Sauerstoffsättigung im arteriellen Blut  
bei gleichzeitigem Abfall des Sauerstoffpartialdruckes im venösen Blut festzustellen  
(BAGER ET. AL (1992)).

Bezüglich des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes wurde bei Betäubung mit Erholung ein leicht er-  
höhter venöser CO<sub>2</sub>-Partialdruck und unveränderte oder leicht erniedrigte arterielle  
Werte mit großen individuellen Unterschieden, bei Betäubung mit Stechen ein „dra-  
matischer“ Anstieg (ersten 50 s nach Betäubungsbeginn) im venösen Blut und gleich-  
bleibende Werte im arteriellen Blut verzeichnet. Stechen ohne Betäubung führte mit  
starken individuellen Schwankungen zu einem Anstieg des venösen CO<sub>2</sub>-Partial-  
druckes (geringer als nach dem Stechen mit vorangehender Betäubung) und sinken-  
den Partialdrücken im arteriellen Blut (BAGER ET. AL (1992)).

### 2.3.7 Der Einfluß der Entblutung

Nach BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a) sind die Umstände der Entblutung (Zeitpunkt, Verfahren (Abb. 5)) entscheidend für die Tierschutzgerechtigkeit eines Betäubungsverfahrens, das nicht zu einem sofortigen und anhaltenden Zustand von Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit führt, wie bei der Bolzenschußbetäubung oder der Kombination von Elektrobetäubung mit der Auslösung von Kammerflimmern.

Aus den Tabellen 1-5 (Kap. 2.3.4.5) zu den Ergebnissen von EEG- und ECoG-Messungen zum generalisierten cerebralen Anfall (GCA) geht hervor, daß der Zeitpunkt der Entblutung Einfluß auf die Dauer des Anfalls hat. Bei Versuchen mit Erholung der Tiere oder spätem Stechen (später als 13s-14s nach dem Betäubungsbeginn (GREGORY U. WOTTON (1984b))) sind die Mittelwerte der Anfallsdauer um das eineinhalb- bis zweifache länger als bei Stechen innerhalb von 10s nach Betäubungsbeginn.



Die Art der Schnittführung (Entblutetechnik) hat wesentlichen Einfluß auf die Entblutegeschwindigkeit und die Dauer des GCA resp. die Erholung des Tieres. Bei Schaf und Rind kann es nach dem Halsschnitt oder Halsstich (s. Abb. 5) zu unvollständiger Eröffnung oder Verschuß (infolge Blutkoagula) der Carotiden kommen. Die Folge sind eine wesentlich längere Zeitdauer bis zum vollständigen Erlöschen der Hirntätigkeit (EEG-Messungen), und in einzelnen Fällen kann es zur Erholung des Gehirnes (infolge ausreichender Blutversorgung über die Paravertebralarterien und einer Umverteilung des Blutes durch Anastomosen („Circle of Willis“)) und dem Wiederkehren von Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit kommen (BLACKMORE U. NEWHOOK (1976), GREGORY U. WOTTON (1984c), BLACKMORE U. DELANY (1988), ROWE ET AL. (1988), SHAW ET AL. (1988)).

ANIL ET AL. (1995a) konnten an elektrisch betäubten Kälbern zeigen, daß es bei einer Behinderung des Blutflusses (Verstopfen einer *A. carotis* nach dem Halsschnitt mit Blutkoagula oder Zurückschnellen und Zusammenziehen des Arterienstumpfes) zu einer Verzögerung des Blutdruckabfalles (*A. paravertebralis*) um über 10s kommen kann, und daß sich infolgedessen das Einsetzen einer isoelektrischen Linie im EEG verzögern kann. Es wurden große individuelle Unterschiede festgestellt. In einer zweiten Studie (ANIL ET AL. (1995b)) konnten die Autoren zeigen, daß dieser Effekt durch „chest sticking“, d. h. thorakalen Entblutestich, verhindert werden kann, so daß weder Blutdruckanstieg noch eine Verzögerung des Eintretens eines isoelektrischen EEG feststellbar waren.

In Bezug auf die Schweineschlachtung bestehen derartige Probleme infolge des thorakalen Entbluteschnitts nicht (BLACKMORE U. DELANY (1988)). Allerdings hängt die Effektivität der Entblutung beim Schwein mit deren richtiger Durchführung zusammen, wie die Ergebnisse von HOENDERKEN (1978) zur Zeitdauer zwischen Stechen und dem Erlöschen nachweisbarer Gehirnfunktion im EEG deutlich machen (Abb. 6). Nach Stechen durch einen geübten Schlachter (U1) war bei 24 von 26 Schweinen 22s nach Entblutestich keine elektroencephalographische Ableitung von Hirnströmen mehr möglich (Isoelektrische Ableitung). Demgegenüber zeigte nach Stechen durch weniger geübte Personen jedes vierte von 181 Tieren noch über 31s nach dem Stechen Gehirnaktivität. Bei 5% (n=9) der untersuchten Schweine war nach Stechen für über 62s ein EEG ableitbar (HOENDERKEN (1978)).

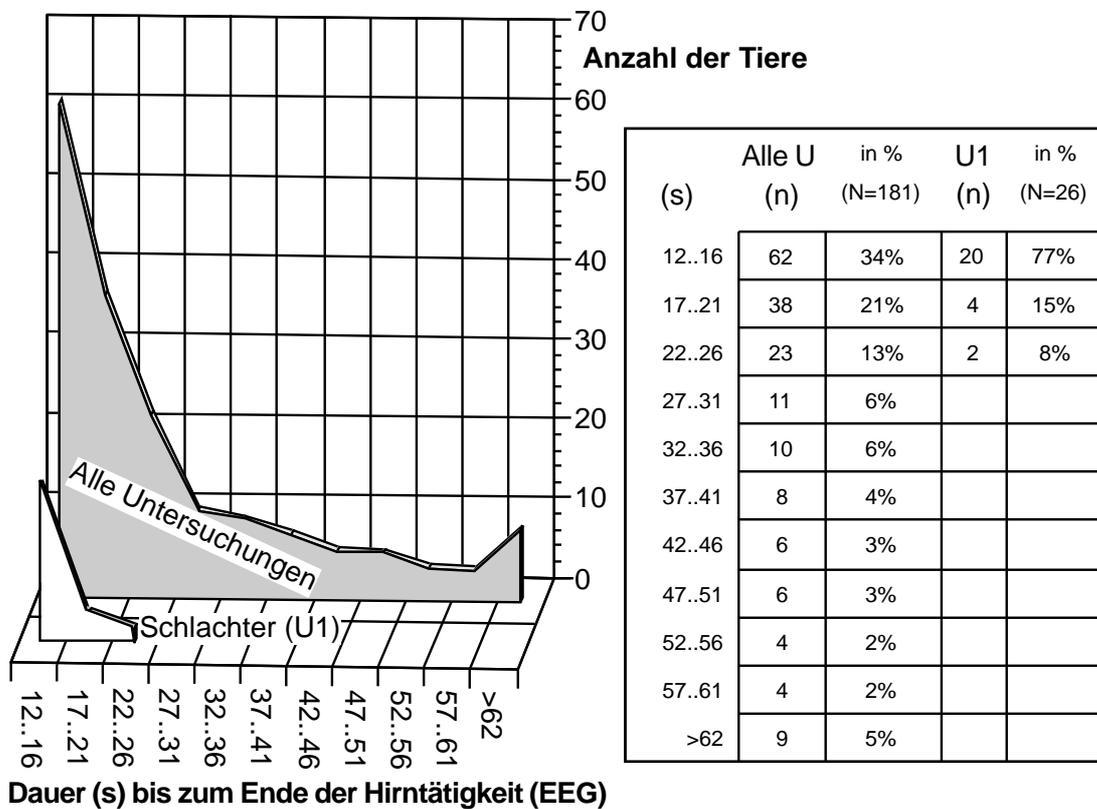


Abb. 6: Graphische Darstellung der Ergebnisse von HOENDERKEN (1978) bezüglich der Zeitdauer zwischen Stechen im Hängen und „isoelektrischer Ableitung“ im EEG bei Schweinen (N=181).

Die Ergebnisse nach dem Stechen durch einen erfahrenen Schlachter (U1) (weiße Fläche) bei 26 Tieren sind der Auswertung aller Untersuchungsergebnisse gegenübergestellt (graue Fläche). Die Anzahl der Tiere mit isoelektrischer Ableitung für den jeweiligen Zeitpunkt nach dem Stechen (X-Achse) ist aufgetragen. Die Schweine waren aus Tierschutzgründen vorher mit Pentobarbital-Na (20-24 mg/kg KG i.m.) narkotisiert worden.

## **2.4 Praktische Aspekte der Durchführung der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen**

### **2.4.1 Fixierung zur Betäubung**

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Elektrobetäubung wurden aus Gründen der Arbeitssicherheit und zum Erreichen höherer Schlachtzahlen Einrichtungen entwickelt, die die Bewegungsmöglichkeiten der Tiere für die Durchführung der Betäubung einschränken sollen.

Fixationseinrichtungen waren bereits für die Bolzenschußbetäubung bei Rind und Schwein gebräuchlich und wurden bei größeren Schlachtbetrieben seit den Dreißiger Jahren dringend anempfohlen. Hierzu wurden sowohl sackgassenartige Fallen als auch Einzeltreibgänge verwandt. Auch die Konstruktion einer „Schweinerutsche“, in der die Tiere von einer höheren Ebene über eine Metallrutsche in die Fixierung gleiten sollten, wurde beschrieben (FAHRBACH (1948)).

Aktuelle Erhebungen zeigen aber, daß auch heute noch ein großer Teil der Schweine in der Gruppe freilaufend mit der Handzange betäubt wird (sog. Buchtenbetäubung) und daß daraus fehlerhafte Elektrodenansätze und Fehlbetäubungen resultieren (HOENDERKEN (1978) in den Niederlanden; WYSS (1985) in der Schweiz; BROCK (1987), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989b), DAYEN (1989), BOOSEN U. ROMING (1993), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1994) in der BRD).

MICKWITZ (1982) beschrieb, daß er im Rahmen einer Erhebung im Auftrag der EU insbesondere Probleme bei der Schweinebetäubung infolge falschen Elektrodenansatzes bei der Buchtenbetäubung und infolge ungünstiger Konstruktionen des Zutriebs und der Fixationseinrichtungen festgestellt habe (MICKWITZ U. LEACH (1977)).

HOLLEBEN (1996a) gibt einen Überblick über die an Fixationseinrichtungen zu stellenden Anforderungen und schildert Probleme, die sich aus der Fixierung der Tiere zur Betäubung ergeben. Bezüglich der Gestaltung der Betäubungsfallen nach ethologischen Gesichtspunkten, die ein Eintreten der Tiere ohne Zwangsmaßnahmen ermöglichen sollen, der Vermeidung von unnötiger Belastung der Tiere durch die Fixiereinrichtung und der Möglichkeit des exakten Ansatzes der Elektroden attestierte sie einigen Konstruktionen erhebliche Mängel und teilweise Tierschutzrelevanz. Die Autorin unterteilte die Fixationseinrichtungen beim Schwein in Einzeltierfallen ohne direkten Kontakt (Bewegungseinschränkung) und mit direktem Kontakt (Hebefallen, V-förmige Restrainer (syn. V-Restrainer), Brust-Bauch-Band-Förderer).

Bei Einzeltierfallen ohne direkten Kontakt sei der Eintrieb erleichtert, wenn die Frontseite der Fixierung offen gestaltet ist, andererseits könne es zu Fehlplatzierungen der Elektroden kommen, weil die Bewegungsmöglichkeit des Kopfes kaum eingeschränkt wird. Der Auswurf verzögere sich bei einigen Fallen und ein schnelles Stechen sei nicht immer möglich. Die V-Restrainer und Hebefallen würden von den Schweinen überwiegend nur nach Einsatz elektrischer Treibhilfen betreten, bei Hebefallen komme es häufig durch mechanische Fallenteile zur Behinderung beim Elektrodenansatz, und der Einsatz einer Herzelektrode für eine Hirn-Herz-Durchströmung sei oftmals nicht möglich (HOLLEBEN (1996A, 1996B)).

Die Vorteile der Fixierung der Schweine in Brust-Bauch-Lage wurden von BRIESE U. WENZLAWOWICZ (1996) hervorgehoben, die ausgehend von Erfahrungen von Prof. G. v. Mickwitz eine nach ethologischen Vorgaben entwickelte Fixierungseinrichtung für die Betäubung von bis zu 120 Tieren/Stunde vorstellten. Die Tiere werden hierbei in einem Bereich der Falle, in dem sie nicht eingeeengt werden, und in den sie infolge einer in Treibrichtung optisch offenen Falle verhältnismäßig leicht eintreten, mittels eines verborgenen Hebeblocks angehoben und dann passiv in die Betäubungsposition vorgefahren. Durch die Konstruktion der Falle würde das fixierte Tier für nachfolgende Tiere so wirken, als sei es weitergelaufen, so daß sie ihm in die Abholposition folgen. In einer nachfolgenden Studie konnten die Vorteile der Ruhiglage der Tiere in Brust-Bauch-Lage auf dem Hebeblock bezüglich einer exakter Elektrodenpositionierung und einer optimalen Ruhiglage auf dem Entbluteband gezeigt werden (WENZLAWOWICZ ET AL. (in Vorbereitung)).

In zwei Studien wurden von LAMBOOIJ ET AL. (1992, 1993) die Vorteile der Fixierung von Schweinen auf einem zwischen den Beinen verlaufenden Förderband, auf dem die Tiere liegen, gegenüber der herkömmlichen Fixierung im V-förmigen Restrainer beschrieben. Dabei wurde ebenfalls festgestellt, daß Tiere, in Brust-Bauch-Lage auf liegend fixiert, wesentlich weniger Anzeichen von Beunruhigung und Erregung zeigten, als bei Fixierung an der seitlichen Brustwand im V-förmigen Restrainer. Daß die Fixierung in Brust-Bauchlage mit einem positivem Einfluß auf die Fleischqualität und einer Reduzierung von Schlachtkörperschäden (Schulterblutungen) einherging, führten die Autoren darauf zurück, daß bei dieser Art der Fixierung die physiologische Gliedmaßenstellung beibehalten wird. Demgegenüber entsteht im V-förmigen Restrainer eine unphysiologische Gliedmaßenstellung, weil die seitliche Brustwand und der Schulter- und Ankonäenbereich unphysiologisch eng zusammengepreßt werden.

## **2.4.2 Kopfdurchströmung zur Auslösung der Betäubung**

Laut MICKWITZ ET AL. (1989) bestimmen im wesentlichen fünf Parameter die Auswirkung des elektrischen Stromes auf den tierischen Organismus:

1. Die elektrische Spannung
2. Die elektrische Stromstärke (bei Konstantspannung abhängig vom Widerstand)
3. Die Dauer der Durchströmung
4. Die Frequenz des Stromes (und seine Schwingungsform)
5. Die Strombahn

Diese fünf Parameter müssen, da sie sich gegenseitig beeinflussen, in gegenseitiger Beziehung zueinander betrachtet werden, damit die Betäubungswirkung sichergestellt werden kann.

### **2.4.2.1 Einfluß der Ansatzstellen der Kopfelektroden**

„Richtiges d.h. ruhiges und überlegtes Ansetzen der Zange ist Vorbedingung für eine einwandfreie Betäubung“ (FICKER (1931) zit. nach FAHRBACH (1948)).

Bei falscher Elektrodenpositionierung und/oder mangelhaftem Elektrodenzustand bewirkt auch die empfohlene 250V Betäubungsspannung keine effektive Betäubung (WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989b), BOOSEN U. ROMING (1993)). Unsachgemäßer Elektrodenansatz (ebenso wie zu geringer Stromfluß) kann zu Elektroimmobilisation infolge Rückenmarksdurchströmung bei erhaltener Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit oder zu Elektronarkose mit rascher Erholung nach Ende der Durchströmung und Schmerzäußerungen des Tieres führen (HOENDERKEN (1978), TROEGER U. WOLTERS DORF (1988b, 1989b), TROEGER (1990, 1991)). Die bei der Betäubung freilaufender Schweine in der Bucht unvermeidlich vorkommenden fehlerhaften Elektrodenansätze mit der Folge ausbleibender Betäubung und/oder Doppeldurchströmungen waren Auslöser der Bemühungen, in Deutschland einen Fixierungszwang bei der Elektrobetäubung anzustreben (MICKWITZ U. LEACH (1977), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989b), TROEGER (1990), WOLTERS DORF (1990), HOLLEBEN (1996a, 1996b)).

Den Ansatzstellen der Elektroden für die betäubungseinleitende Kopfdurchströmung kommt eine besondere Bedeutung zu. Die das Gehirn umgebende Schädelkalotte weist einen hohen elektrischen Widerstand (Knochen ca. 2000 Ohm/cm) auf, so daß der Strom um die Kalotte herumfließt, wenn nicht gut leitende anatomische Strukturen

als Leitungsbahnen zum Gehirn dienen können (MICKWITZ U. REINHARD (1966), BOOSEN U. ROMING (1993), KOCH ET AL. (1996)). SWATLAND ET AL. (1984) konnten nur einen Anteil von 3% der Betäubungsspannung im Gehirn messen, BROCK (1987) fand bei den von ihm empfohlenen Ansatzstellen Prozentanteile von 3,5-4,6% abhängig von der Betäubungsspannung. Als Ansatzstellen der Elektroden sollten daher Hautbereiche dienen, die in unmittelbarer Nähe zu Gefäßen und Nerven resp. deren Eintrittsstellen in die Schädelkalotte liegen, und es kommt abhängig von den Elektrodenansatzstellen zu unterschiedlicher Verteilung des Stromes (BROCK (1987), KOCH ET AL. (1996)).

Als geeignete Elektrodenansatzstellen erscheinen die Augen (v.a. *N. opticus*) und der Ohrgrund (*N. facialis*, *N. mandibularis*). MICKWITZ U. REINHARD (1966) erhielten in Versuchen zur Elektronarkose beim Schwein die besten Ergebnisse bei einem Ansatz Auge-Auge und Auge-Ohr, und MICKWITZ ET AL. (1989) und DEMMLER (1988) empfahlen diese Ansatzstellen auch zur Betäubung im Rahmen tierschutzgerechter elektrischer Tötung im Seuchenfall. Nach HOENDERKEN (1978), JEMMI (1986) und SCHATZMANN (1988) soll ein bitemporaler Ansatz empfehlenswert sein.

BROCK (1987) fand die höchsten Spannungen im Gehirn bei der Durchströmung von Schweineköpfen kurz zuvor verendeter Tiere mit 300V und 87,5V beim Ansatz Auge-Ohr. Intracranial maß er bei 300V Betäubungsspannung rd. 14V gegenüber rd. 3V bei 87,5V Betäubungsspannung mit geringen Unterschieden bei angefeuchteter oder bei trockener Haut. Die Untersuchungen wurden mit Betäubungszangen durchgeführt, an denen rechteckige Elektroden mit je zwei Zahnreihen angebracht waren. Er empfiehlt anhand seiner Spannungsmessungen die Ansatzstellen Auge-Ohrgrund, Auge-Auge, Ohrgrund-Ohrgrund in dieser Rangfolge.

Trotz der guten (Labor-)Ergebnisse bei einem Ansatz Auge-Auge hat sich diese Elektrodenpositionierung in der Praxis nicht bewährt, wenn die Tiere auf eine Annäherung von vorn auch in Fixationseinrichtungen mit stärkeren Abwehr- bzw. Ausweichreaktionen reagieren können und die Elektroden infolgedessen falsch platziert werden (BRIESE (1996a)). Praxisgerecht ist ein Ansatz Ohrgrund-Ohrgrund oder Auge-Ohrgrund, der von hinten erreicht werden kann.

### 2.4.2.2 Überwindung des Hautwiderstandes am Elektrodenkontakt

Spannung (U), Stromstärke (I) und Widerstand (R) stehen nach der Ohmschen Gleichung in der Beziehung:  $U/R = I$ . Die bei konstanter Spannung effektiv auf das Gehirn einwirkende Stromstärke sinkt demzufolge mit steigendem Widerstand zwischen den Elektroden.

Die Haut stellt den höchsten elektrischen Widerstand für den Betäubungsstrom dar. Ist der Hautwiderstand einmal überwunden, kann der Widerstand darunterliegender Strukturen (Körperinnenwiderstand) als im wesentlichen frequenz- und spannungsunabhängiger ohmscher Widerstand verstanden werden, d.h. als Leitungsnetz mit verschiedenen parallel geschalteten ohmschen und kapazitiven Widerständen, die die unterschiedlichen Gewebestrukturen repräsentieren (FREIBERGER (1934), FERRIS ET AL. (1936), BIEGELMEIER (1977, 1986), GREGORY(1985), MICKWITZ ET AL. (1989)).

Die verhornten Epithelschuppen und das ebenfalls schlecht stromleitende darunterliegende Corium „isolieren“ den Körper gegen die Elektrode. Dabei ist die Fläche, über die eine definierte Spannung auf die Haut übertragen wird, für den Widerstand entscheidend, da sich der Gesamthautwiderstand aus der Summe der unter der Elektrode liegenden parallelen Widerstände ergibt. (BIEGELMEIER (1977)). Der Widerstand der Haut sinkt, wenn die Epidermis durch Flüssigkeit aufgequollen ist. Durch Befeuchten der Haut mit Wasser oder anderen leitenden Flüssigkeiten (NaCl-Lösung, Soda) werden Oberflächenunebenheiten ausgefüllt, und die elektrische Überleitungsfläche wird erhöht (BIEGELMEIER (1977)). Beim Menschen leiten im wesentlichen die Schweißdrüsen und deren Ausführungsgänge, die parallele "Gaps", Stromflußpforten, durch das isolierende Corium bilden (BIEGELMEIER (1986)).

HOENDERKEN (1978) fand auch bei gleichen Betäubungsbedingungen (Generator, Elektroden, Ansatzstellen) eine große Spannbreite der Haut- und Gesamtwiderstände zu Beginn und während der Betäubungsvorgänge. Er stellte Probleme mit dem Auslösen der Anlagen und viele Stromflußunterbrechungen durch die widerstandgesteuerte Schutzschaltung der Betäubungsgeneratoren fest. Die Betriebssicherheit der Anlagen für das Betäubungspersonal wird durch wiederholte Widerstandsmessungen (50ms Takt) der Haut mit einem Prüfstrom sichergestellt, wobei ein hoher Widerstand (1200-1600 Ohm bei trockener menschlicher Haut) die Auslösung des Betäubungsstromes verhindert, bzw. den Stromfluß über einen Schutzschalter automatisch unterbricht (BIEGELMEIER (1977), KAMPHUIS (1982), SCHULZ (1993)).

Nach Anfeuchten der Haut vor der Betäubung haben HOENDERKEN (1978), WYSS (1985) und TROEGER U. WOLTERS DORF (1989b) höhere Stromstärken (niedrigere Widerstände) messen können als bei trockenen Tieren. BROCK (1987) fand demgegenüber keinen deutlichen Unterschied. Bei übermäßigem Anfeuchten besteht die Gefahr von Stromableitungen über die Flüssigkeiten (mögliche Folge sind Fehlbetäubungen) und einer verstärkten Oxidation der Elektrodenoberflächen (BLACKMORE U. DELANY (1988)).

An der Kontaktfläche mit der Elektrode kommt es zu einer Erwärmung der Haut, die initial zu einer Widerstandsverringerung führt (SWATLAND (1983)). Bei sehr kleiner Kontaktfläche und hoher Stromstärke entsteht an der betroffenen Stelle starke Hitzeentwicklung infolge hoher Übergangswiderstände (RUJU ET AL. (1967), BRINKMANN U. SCHAEFER (1982)), und Flüssigkeitsverluste in der Haut. Es entstehen Strommarken, und in Bereichen verbrannter Haut kommt es zu Überleitungsstörungen (PROKOP U. GÖHLER (1976)), die den Stromfluß abbrechen lassen können. Die Wärmeentwicklung am Übergang Elektrode-Haut ist eine Ursache für die sich ständig ändernden (Haut-)Widerstandsverhältnisse im Verlauf der Durchströmung und damit ursächlich am Entstehen der starken Stromflußschwankungen beteiligt.

Technisch betrachtet kann der Hautwiderstand als kapazitiver Widerstand angesprochen werden, d.h. ähnlich wie bei einem Kondensator wird initial der Strom nicht weitergeleitet sondern führt erst zur Aufladung und flächenhaften Ausdehnung eines Ladungsfeldes (BIEGELMEIER (1977, 1986)). Bei Überschreiten einer gewissen Kapazität (keine gesicherten Werte zum Schwein i. d. Lit.) kommt es zum Sinken des Widerstandes.

Am Menschen konnte FREIBERGER bereits 1934 zeigen, daß die Überwindung des kapazitiven Hautwiderstandes spannungsabhängig ist und es bei höheren Spannungen schneller zum Stromfluß kommt (FREIBERGER (1934)). HOENDERKEN (1978) und WYSS (1985) kamen nach Untersuchungen an Schweinen zu dem gleichen Ergebnis. Bei vergleichenden Messungen mit verschiedenen Spannungen (HOENDERKEN (1978): 70-600V; WYSS (1985): 75V, 220V, 260V) stieg die Stromstärke bei höheren Spannungen schneller an. Für den Menschen gilt außerdem, daß für Spannungen unter 100V die Körperimpedanz (im wesentlichen der Hautwiderstand, da der Körperinnenwiderstand einem ohmscher Widerstand entspricht) mit steigender Frequenz bis zu einem Grenzwert von 1000Hz rapide absinkt (BIEGELMEIER (1977, 1986)).

### 2.4.2.3 Elektrodenform, Elektrodenhalter und Andruck

FAHRBACH (1948) berichtete, daß es seit der Entwicklung der Elektrobetäubung eine lebhafte Diskussion um die Bedeutung der Elektrodenform für die Stromübertragung gegeben habe. HOENDERKEN stellte nach seinen Literaturstudien fest, daß der Einfluß von Elektrodenform und deren Platzierung noch nicht hinreichend untersucht worden seien (HOENDERKEN (1978)).

Da nach MICKWITZ ET AL. (1989) der Hautwiderstand als das größte Hindernis für die schnellstmögliche Einleitung des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) bei der Schweinebetäubung anzusehen ist — geeignete Ströme und Ansatzstellen vorausgesetzt — und dessen Überwindung wiederum von der Stromdichte ( $A/m^2$ ) und somit von der Übertragungsfläche abhängt, kommt der Form der Elektroden sowie ihrem Andruck aber auch ihrem Pflegezustand entscheidende Bedeutung zu. Darüberhinaus sind Andruck und Elektrodenform für die Vermeidung von Stromflußunterbrechungen bei Bewegungen oder Lageveränderungen des Tieres von entscheidender Bedeutung. Auch kleine Verschiebungen der Elektroden machen eine erneute Überwindung des Hautwiderstandes nötig. Die Spannbreite der Haut- und Gesamtwiderstände schwankt jedoch auch bei gleichen Betäubungsbedingungen (Ansatzstelle, Hautzustand (feucht, trocken, verschmutzt), gleicher Generator) in einer Größenordnung von mehreren Hundert Ohm (HOENDERKEN (1978), WYSS (1985)).

HOENDERKEN (1978), WYSS (1985), MICKWITZ ET AL. (1989) und WOLTERS DORF (1989, 1990) empfahlen die Verwendung von scharfen Zackenelektroden und eine vorangehende Anfeuchtung der Haut an der Elektrodenkontaktfläche. Ein gleichmäßiger Andruck der Elektroden soll einen gleichbleibenden Kontakt mit der Hautstelle für die Dauer der Durchströmung sicherstellen. Insbesondere bei scharfen, gezahnten Elektroden führt ein starker Andruck außerdem zum Eindringen der Elektroden in die Haut, zu ihrer Durchdringung und einer vergrößerten Überleitungsfläche. Geeignete Elektrodenhalter für die Kopfdurchströmung in Betäubungsfallen, ausgestattet mit pneumatischen Zylindern, die gleichmäßige Andrucke zwischen 1,8 und 3 Atmosphären sicherstellen, sind im Handel. Einige dieser pneumatischen Zangen sind jedoch sehr unhandlich und schwer, so daß der korrekte Ansatz behindert wird oder sie in einigen Fixationseinrichtungen nicht einsetzbar sind (HOLLEBEN (1996a)).

Außerdem ist bei der Auswahl pneumatischer Betäubungsgabeln auf schnelles Schließen und Öffnen der Zange zu achten, damit Tierbewegungen nicht zu Fehlplatzierungen führen und ein Korrigieren des Ansatzes gegebenenfalls möglich ist (BRIESE (1996a)).

#### **2.4.2.4 Stromstärke und Durchströmungsdauer**

HOENDERKEN (1978) untersuchte mittels EEG den Einfluß der Stromstärke auf die Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalls (GCA) beim Schwein und fand, daß Stromstärke, Anstiegssteilheit und Stromform für die Auslösung des Anfalls entscheidend sind. Die hierfür notwendige Stromstärke sei auch von den Elektrodenansatzstellen abhängig. Durch Hochrechnung ermittelte HOENDERKEN (1978) eine hohe Wahrscheinlichkeit der elektrischen GCA-Auslösung in der Praxis, wenn beim Schwein mindestens 250V / 1,25A (50Hz sinusförmiger Wechselstrom) bei einem Elektrodenansatz Ohrgrund-Ohrgrund oder Auge-Ohrgrund eingesetzt werden (HOENDERKEN (1978)). Verschiedene Autoren haben dies bestätigt (SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), DEMMLER (1988), TROEGER U. WOLTERS DORF (1988B), MICKWITZ ET AL. (1989)).

Bestimmend für die unmittelbare Auslösung des GCA ist ein schnell ansteigender, hinreichender elektrischer Stromfluß im Gehirn (HOENDERKEN (1978), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL (1983), BROCK (1987), COOK ET AL. (1995)). Folgerichtig muß den Faktoren, die in Bezug auf den Stromfluß fördernd, modifizierend oder hemmend wirksam werden, besonders Rechnung getragen werden. Für die unvermittelt einsetzende Wirkung ist die schnellstmögliche Überwindung der den Stromfluß hemmenden Faktoren sowie die Ausnutzung anatomischer Strukturen, die den elektrischen Fluß begünstigen, von Bedeutung (MICKWITZ ET AL. (1989)).

Die Geschwindigkeit des Anstiegs der Stromstärke im Verlauf der Durchströmung steigt mit der verwendeten Spannung (HOENDERKEN (1978), SWATLAND ET AL. (1984), WYSS (1985)), und bei höherer Spannung ist der Spannungsanteil, der im Gehirn gemessen werden kann, tendenziell höher als bei niedrigerer Spannung (BROCK (1987)).

Die Dauer des GCA beim Schwein ist bei ausreichender Stromstärke (1,25A) und richtigem Elektrodenansatz (Auge-Auge, Auge-Ohrgrund, Ohrgrund-Ohrgrund) oberhalb von einer Mindestdurchströmungszeit von 1s durch längere Stromflußzeiten oder höhere Stromstärke nicht nachweisbar beeinflusst (HOENDERKEN (1978)). HOENDERKEN (1978) schloß daraus auf einen Alles-oder-Nichts-Effekt für den Betäubungserfolg im Sinne der Auslösung des generalisierten cerebralen Anfalls.

Auch bei den von HONDERKEN (1978) empfohlenen Ansatzstellen und Spannungen von 240-250V (Festspannungsgeräte, AC\_50-60Hz) wurden bei den Untersuchungen von WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989b), WOLTERS DORF (1990) und BOOSEN U. ROMING (1993) bei Handzangenbetäubung nicht immer innerhalb der ersten Sekunde Stromstärken über 1,0A resp. 1,2A erreicht.

COOK ET AL. (1992, 1995) fanden demgegenüber einen Einfluß der Durchströmungsdauer bei der Kopfdurchströmung auf die Anfallsdauer bei Schafen. Bei Durchströmungszeiten von 0,2s bis 4,0s registrierten sie bei der Betäubung mit einem Konstantstromgerät (AC\_50Hz\_Sinus\_1,0A ) eine steigende Dauer des GCA im Elektroencephalogramm (Abb. 2). Oberhalb von 4,0s Durchströmungszeit wurde durch längere Durchströmung keine weitere Verlängerung des Anfalles registriert. Eine Durchströmungsdauer über 20,0s führte zu einer verkürzten Gesamtdauer des Anfalles. Die Autoren empfahlen eine Durchströmungszeit von mindestens 2,0s bis maximal 20,0s mit 1,0A bei alleiniger Kopfdurchströmung zur Schlachttierbetäubung von Schafen (COOK ET AL. (1992, 1995)).

ANIL (1991) konnte keinen Zusammenhang zwischen Ausprägung, Krampfbewegungen der Vorder-/Hintergliedmaßen oder Länge der Exzitationen (tonisch-clonische Phase) und alleiniger Hirndurchströmung mit 100V, 150V und 300V (je AC\_50Hz) sowie unterschiedlichen Durchströmungsdauern (3s gegenüber 7s) nachweisen, vorausgesetzt es wurde ein GCA ausgelöst.

Verschiedene Autoren leiteten aus ihren Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Stromstärke oder Strommenge und Fleischqualitätsveränderungen beim Schwein her (LAMBOOIJ U. SCHATZMANN (1994)). TROEGER U. WOLTERS DORF (1988a, 1988b) geben einen Grenzwert von 15 Coulomb (Strommenge in Coulomb = Stromstärke multipliziert mit der Durchströmungsdauer) an, oberhalb dessen eine höhere PSE-Häufigkeit anzunehmen sei. Auch die erneute Durchströmung nach der eigentlichen Betäubung ginge mit Qualitätseinbußen einher.

SCHÖBERLEIN ET AL. (1979) fanden bei Untersuchungen zur Schlachtschweinebetäubung mit AC\_75V\_15s\_50Hz\_Sinus eine stärkere Beeinträchtigung der Fleischqualität infolge praemortaler Belastung durch mißbräuchlichen Einsatz von Stromstößen zum Treiben als durch mehrmalige Durchströmung.

Die Verwendung von Geräten, die unabhängig vom Widerstand zwischen den Elektroden eine konstanten Stromstärke (Konstantstromgeräte) erzeugen, wurde aus Tierchutz- und Qualitätsgründen (besser kontrollierbare Gesamtstrommenge) empfohlen (HOENDERKEN (1978), WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989a, 1989b), WOLTERS DORF (1989, 1990), BOOSEN U. ROMING (1993)),

### 2.4.2.5 Stromfrequenz und Stromform

Bei der elektrischen Betäubung steht die Reizempfindlichkeit einzelner Nerven weniger im Vordergrund. Dennoch sollten einige Grundlagen der Nervenphysiologie im Zusammenhang mit der Diskussion um die Verwendung neuer Stromformen und Frequenzen Erwähnung finden.

Am isolierten Nerven oder Nervenstrang bezeichnet man als Chronaxie die Zeitdauer (s), die ein Gleichstrom mit einer gewissen Anstiegssteilheit (Steilheitsbedarf) mit der Stärke der doppelten Rheobase fließen muß, um ein Aktionspotential auszulösen. Sinkt die Reizdauer unter den Wert der Chronaxie des Nerven, steigt die notwendige Reizstärke (Volt oder Ampere) zur Auslösung eines Aktionspotentials exponential. Chronaxie, Steilheitsbedarf und Rheobase verschiedener Faserqualitäten unterscheiden sich, und sie werden in der medizinischen Diagnostik als Kennzahlen zur Differenzierung der motorischen und sensiblen Faseranteile in zusammengesetzten Nervensträngen eingesetzt. An der Zellmembran wird aktiv (Energieverbrauch) durch Ionenverschiebungen (Na, Cl, K) ein Gradient (Membranpotential) aufrechterhalten, der bei Auslösung des Aktionspotentials durch die Öffnung von Na<sup>+</sup>-Kanälen und Einstrom von Na<sup>+</sup>-Ionen zusammenbricht. Die Repolarisation an der Membran geschieht durch K<sup>+</sup>-Ausstrom und aktive Ausschleusung von Na<sup>+</sup>-Ionen. Die Höhe des Membranpotentials korreliert mit ihrer Erregungsempfindlichkeit. Die absolute Refraktärzeit bezeichnet die Zeitpanne nach einem Aktionspotential, in der an einem Nerven auch mit stark überschwelligem Reizen kein Aktionspotential auslösbar ist. Innerhalb der relativen Refraktärzeit kann der Nerv durch stark überschwellige Reize bereits wieder erregt werden.

Die oben genannten physiologischen Kennzahlen sind für die Reizung des isolierten Nerven mit Wechselströmen von großer Bedeutung. Bei sinus- oder dreieckförmigen Wechselströmen sinkt mit der Frequenz auch die Anstiegssteilheit. Sehr niederfrequente Ströme können einen Effekt der Einschleichung bewirken, d. h. es kommt zu einem Ionenfluß in Richtung auf die Kathode und deshalb zu einer Verringerung des Membranpotentials der Nervenzelle. Durch das sinkende Membranpotential steigt die Reizschwelle, und es sind höhere Stromstärken zur Auslösung des Aktionspotentials nötig. Mit steigender Frequenz des Stromes nimmt die Anstiegssteilheit zu, gleichzeitig sinkt jedoch die Reizdauer. Unterschreitet die Reizdauer die Chronaxie des Nerven, steigt die notwendige Reizstärke zur Auslösung des Aktionspotentials. Bei hohen Frequenzen kann die Pause zwischen den Einzelimpulsen so kurz werden, daß die Zelle noch refraktär ist und daher nicht (absolute Refraktärzeit) oder nur mit höherer Reizstärke (relative Refraktärzeit) erregbar ist.

Für den isolierten Nerven ergibt sich daraus ein Frequenzbereich maximaler Empfindlichkeit abhängig von seiner spezifischen Chronaxie, Rheobase und Refraktärzeit und seinem Steilheitsbedarf. Oberhalb und unterhalb dieses Frequenzbereichs steigt die Reizschwelle zur Auslösung der Erregung stark an. Markarme Nervenfasern haben vergleichsweise niedrige (vegetative Fasern: 10-30Hz), dicke, markhaltige Nervenfasern hingegen höhere Frequenzoptima (100-200Hz) (REIN U. SCHNEIDER (1960)).

Bei den meisten verwendeten Betäubungsgeräten wird sinusförmiger Wechselstrom mit 50Hz eingesetzt (GREGORY (1985), BOOSEN U. ROMING (1993)). Im Handel sind aber auch Betäubungsgeräte mit anderen Frequenzen und anderen Stromformen (WOTTON U. GREGORY (1986), ANIL U. MCKINSTRY (1992), BOOSEN U. ROMING (1993), TROEGER (1996), BRIESE (1996a)).

Untersuchungen zur Betäubungseffizienz bei der Elektrobetäubung, die sich auf EEG-Aufzeichnungen stützen, wurden vorwiegend mit 50Hz sinusförmigen Wechselströmen vorgenommen (ANIL U. MCKINSTRY (1992)). Insofern können verlässliche Angaben nur für sinusförmige und, aufgrund ihrer technischen Ähnlichkeit, für Rechteckwechselströme mit 50Hz Frequenz gemacht werden (HOENDERKEN (1978), ANIL U. MCKINSTRY (1992), TROEGER (1996), TROEGER U. NITSCH (1996)). Die Stromform, die durch den Betäubungsstromgenerator erzeugt wird, erfährt infolge der kapazitiven Widerstandsverhältnisse zwischen den Elektroden (Hautwiderstand und zu geringem Teil auch der Körperwiderstand resp. die Körperimpedanz) eine Veränderung. So kommt es auch bei Rechteck- oder Gleichstrom zu einer "Abrundung" des anfänglichen Kurvenverlaufes (WOTTON (1995)), und das Amplitudenmaximum wird mit einer zeitlichen Verschiebung im Millisekundenbereich erreicht (BIEGELMEIER (1977)).

In Kap. 2.3.3.1 (s.S. 7) wurden Untersuchungen zum Einsatz von Stromformen und Stromfrequenzen zur Elektronarkose und zur Vermeidung von Krampfsymptomatik, Atemstillstand und Herzkammerflimmern angesprochen. Als Vorteil der Elektroanästhesie und Elektronarkose gegenüber der chemischer Narkoseeinleitung wurde das schnelle Wiedereinsetzen des Bewußtseins und Rückkehr des Sensoriums nach Ende der Stromzuführung hervorgehoben. Bei der Elektrobetäubung ist demgegenüber ein Andauern der Betäubungswirkung über die Durchströmungszeit hinaus erwünscht.

Von verschiedenen Autoren wurde über unterschiedliche Erfahrungen mit der Elektrobetäubung mit von AC\_Sinus\_50Hz abweichenden Stromformen und -frequenzen berichtet:

WEAVER ET AL. (1977) berichteten, daß bei der Verwendung von hohen Frequenzen geringere Stromstärken und nur halb so viel Energie notwendig seien, um einen generalisierten cerebralen Anfall hervorzurufen, als bei der Verwendung von 50Hz-frequentem Wechselstrom.

Nach VAN DER WAL (1978) erzeugten rechteckige Gleichstromwellen mit einer Frequenz von 2-3 KHz bei Schweinen keinen sofortigen und anhaltenden Verlust der Sensibilität und schienen schmerzhaft für die Tiere zu sein.

LAMBOOIJ UND RING (1989) befanden bei einer Plazierung der Elektroden im Großhirn, daß mit einer Spannung von 25V bei 150Hz eine ausreichende Betäubungswirkung erreicht werde.

ZUPERKU ET AL. (1967) und SANCES ET AL. (1967) untersuchten mittels evozierter Potentiale (EP) die Wirkung von Rechteck- und Sinus-Wechselströmen auf unterschiedliche Nervenbahnen und Gehirnareale und stellten unterschiedliche Schwellenwerte für die Unterdrückung der EP bezogen auf die Stromform und unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Nervenbahnen gegenüber den beiden Stromformen fest. Die Elektroden für diese Experimente wurden in Nervennähe implantiert.

Über die Tierschutzgerechtigkeit der Betäubung mit hohen Frequenzen gibt es jedoch nach ANIL U. MCKINSTRY (1992) zu wenige genaue Untersuchungen. Sie folgerten aus Untersuchungen von Betäubungen mit von 50Hz Sinus-Wechselströmen abweichenden Stromformen und Frequenzen ([AC\_Sinus\_146V\_1592Hz] und [DC\_Rechteck\_162V\_1642Hz] im Vergleich zu [AC\_Sinus\_150V\_50Hz]), daß sich bei hohen Frequenzen die Zeitspanne bis zum Wiedereinsetzen vitaler Funktionen (Atmung, Schmerzperzeption) verkürzt. Unterschiede zwischen der Wirkung rechteck- und sinusförmiger Stromform konnten nicht festgestellt werden (ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992)).

Die Autoren untersuchten bei Schweinen die Betäubungswirkung von Betäubungsspannungen von 146V sinusförmigem Wechselstrom mit 1592Hz und 162V getaktetem Gleichstrom mit 1642Hz mit Stromflußzeiten von 3s und 7s. Sie stellten anhand der Ausprägung tonisch-klonischer Krämpfe fest, daß die hochfrequenten Betäubungsströme generalisierte cerebrale Anfälle hervorrufen. Die Reaktion auf einen Stich mit einer Nadel in die Rüsselscheibe und das Wiedereinsetzen der Atmung stellten sich jedoch gegenüber den mit 50Hz Strömen betäubten Tieren rund 12-16s früher wieder ein. Die Gliedmaßenbewegungen in der klonischen Phase erschienen bei hochfrequenter Betäubung weniger ausgeprägt, ihre Bewegungen wirkten koordinierter, und es gab weniger paddelnde Bewegungen. Weiterhin waren unwillkürliche Bewegungen der Augenlider seltener, und der Cornealreflex war teilweise auslösbar. Das Verhalten der Tiere zeigte aber eine Reaktionslosigkeit auf externe Reize für mindestens 24s.

ANIL U. MCKINSTRY (1992) empfahlen, die Betäubung mit hohen Frequenzen grundsätzlich mit einer Herzdurchströmung zu kombinieren. Untersuchungen zur Bewertung unterschiedlich hoher Frequenzen, Spannungen und Stromflußzeiten im Hinblick auf ihre Wirkung bei der Erzeugung von evozierten Signalen im ECoG bzw. EEG sollten durchgeführt werden. Derartige Untersuchungen würden die Aktivität des Gehirns nach der Betäubung mit hohen Frequenzen erfassen und in bezug auf den Tierschutz mehr Klarheit bringen.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um „neue“ Stromformen und Frequenzen wird eine geringere Beeinflussung der Muskulatur<sup>1</sup> durch hochfrequente Ströme und von Sinus und Rechteck abweichender Stromformen vermutet (ANONYM (1994), WOTTON (1995), TROEGER (1996)). In Großbritannien wird gegenwärtig an speziellen Stromformen (Strompakete, Hochfrequenz in einer niederfrequenten Hüllkurve) intensiv geforscht, wie aus einer Veröffentlichung in einer englischen Fachzeitschrift für die Fleischbranche hervorgeht (ANONYM (1994)).

TROEGER (1996) und TROEGER U. NITSCH (1996) stellten in ersten orientierenden Versuchen fest, daß Frequenzen von bis zu 10KHz zwar einen GCA auszulösen vermögen, dieser jedoch verkürzt erscheint. Bereits Frequenzen von 300Hz, 500Hz und 800Hz haben sich in der Praxis als problematisch erwiesen (TROEGER (1996), BRIESE (1996a)). Die Marke für den Mindeststromfluß von 1,3A (für 50Hz Wechselströme) müsse wahrscheinlich bei hohen Frequenzen angehoben werden. Bis zur abschließenden Klärung der Wirkung hochfrequenter Ströme sollten diese in Kombination mit einer Herzdurchströmung zur Auslösung von Kammerflimmern eingesetzt werden (TROEGER (1996)).

---

<sup>1</sup> Eine geringere Beeinflussung der Muskulatur durch den Betäubungsstrom könnte theoretisch zur Vermeidung von Schlachtkörperschäden (Wirbel- und Knochenbrüche) und PSE-Anteilen führen. Deartige Neuerungen müssen aber vor dem Hintergrund der bisherigen Forschungsergebnisse dringend auf ihre Tierschutzgerechtigkeit überprüft werden, bevor sie in der Praxis eingesetzt werden..

### 2.4.3 Dauer der Betäubung und Zeitpunkt der Entblutung

MICKWITZ U. LEACH (1977) setzten für die Tierschutzgerechtigkeit einer Betäubungsmethode den unmittelbaren Übergang der Betäubung in den entblutungsbedingten Tod ohne Wiedererlangen von Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit voraus.

HOENDERKEN (1978, 1982) legte hierfür die minimal festgestellte Dauer der Grand mal-typischen EEG-Veränderungen zugrunde. Innerhalb dieser Zeit müsse die Entblutung soweit fortgeschritten sein, daß die entstehende cerebrale Hypoxie eine Erholung von dem elektrisch induzierten GCA ausschließt. HOENDERKEN stellte anhand EEG eine mittlere Dauer der Anfälle (incl. der Phase elektrischer Stille) von  $66s \pm 13,8s$  (N=328) ab Betäubungsbeginn fest und gibt als den frühesten Zeitpunkt seines Endens 32s nach Betäubungsbeginn an.

SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983) fanden in ihren Versuchen an sedierten Tieren (3,5-4,5mg/kg Azaperon (Stresnil®) i.m.) ein Minimum von 17s. Die Autoren verwiesen darauf, daß Stresnil® nicht zu einer Erregungsdepression, sondern vielmehr tendenziell zu einer Reizschwellsenkung führe.

SWATLAND ET AL. (1984) gaben für ihre Untersuchungen  $34,8s \pm 12,4$  als mittlere Dauer ( $\pm$  SD) für die mittels ECoG aufgezeichneten generalisierten cerebralen Anfälle an, der Mittelwert minus der angegebenen Standardabweichung ergäbe 22,4s.

Verschiedene Autoren setzten unter Berufung auf HOENDERKEN (1978) den Zeitraum sicherer Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit bei Schweinen nach elektrischer Betäubung auf mindestens 30 Sekunden fest (SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), BLACKMORE U. DELANY (1988)).

Der im Entwurf der TierSchlV festgesetzten maximalen Zeitdauer von 20 Sekunden zwischen Betäubung und Entblutestich liegt ebenfalls der von HOENDERKEN (1978) angegebene Wert<sup>2</sup> zugrunde.

---

<sup>2</sup> Durch einen ungenauen Übersetzung in den deutschsprachigen Veröffentlichungen und der deutschen Zusammenfassung der Dissertation (HOENDERKEN (1978, 1979, 1983)), entsteht der Eindruck HOENDERKEN habe anhand seiner Ergebnisse die Entblutung 30s nach Betäubung (i. S. nach Durchströmungsende) empfohlen. Aus englischen Veröffentlichungen (HOENDERKEN (1982)) und seiner Dissertation geht jedoch hervor, daß sich die 30s auf den **Beginn** der Betäubung beziehen.

#### **2.4.4 Kombinierte Hirn-Herz-Durchströmung**

Besondere Gefahren für den Menschen im Umgang mit elektrischem Strom ergeben sich aus dem Risiko der Auslösung eines Herzkammerflimmerns infolge der Stromwirkung (FREIBERGER (1934), KAMPHUIS (1982), BIEGELMEIER (1977, 1986)). Durch elektrischen Strom ausgelöstes Kammerflimmern ist beim Tier gleichermaßen gut untersucht und ist abhängig von der Strombahn und -stärke in Herznähe (FERRIS ET AL. (1936), REINHARD U. MICKWITZ (1967, 1969a, 1969b), DEMMLER (1988), FEHRENBURG (1991), FEHRENBURG ET AL. (1991)). THURMON (1986) betonte, daß Hunde erst 12s nach elektrischer Auslösung von Kammerflimmern ohne Kopfdurchströmung Anzeichen gestörter Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögens infolge cerebraler Hypoxie zeigten. Die Auslösung von Kammerflimmern (zur Tötung) ohne Betäubung widerspräche dem Tierschutz.

In der englisch-sprachigen Literatur finden sich keine Untersuchungen zu dem in Deutschland gebräuchlichen Betäubungssystem der asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung. Synchrone Hirn-Herz-Durchströmung wird in Neuseeland seit den Siebziger Jahren für die Schafbetäubung und später in großem Umfang für die Rinderbetäubung eingesetzt („deep stunning“-Verfahren mit Durchströmung vom Kopf zu einer Vordergliedmaße oder zu einer Elektrode auf dem Rücken (Head-to-back-stunning), GILBERT (1980, 1993), GILBERT U. DEVINE (1986), GREGORY (1993)), da durch die infolge Kammerflimmerns einsetzende cerebrale Hypoxie unabhängig von der schnellen Entblutung eine permanente „insensibility“ (analog Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit) entsteht (BLACKMORE U. PETERSEN (1981), BLACKMORE U. DELANY (1988)).

Bei hohen Stromstärken/Spannungen kann es „unabsichtlich“ zu Kammerflimmern kommen (z.B. in Hochvolt-Betäubungsanlagen). HOENDERKEN (1978) berichtete, daß bei Messungen der Herztätigkeit nach 300V Betäubung mit einem Elektrodenansatz Stirn-Nacken bei den Schweinen ebenfalls Herzkammerflimmern festzustellen war.

Im deutschsprachigen Raum und in den Niederlanden wird heute unmittelbar im Anschluß an die Kopfdurchströmung gezielt Kammerflimmern durch einen Stromfluß zwischen einer der Kopfelektroden und einer dritten Elektrode an der Brustwand ausgelöst (asynchrone Hirn-Herz-Durchströmung).

MICKWITZ U. LEACH (1977) berichteten, daß ihnen im Rahmen der Untersuchung der Betäubung in verschiedenen EG-Staaten ein Verfahren aufgefallen sei, bei dem nach

Auslösung der Betäubung durch Kopfdurchströmung die Elektroden in eine Position Kopf (Auge, Stirn, Ohrgrund) Brustkorb (seitlich oder am Sternum) umgesetzt worden seien. Dieses Verfahren sei mit geringerer Krampfaktivität nach der Betäubung einhergegangen, und Reaktionen, die auf eine Rückkehr von Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit hindeuteten, seien nicht feststellbar gewesen (MICKWITZ U. LEACH (1977), MICKWITZ (1982)).

MICKWITZ betreute später die Entwicklung eines Tötungsverfahrens für Rinder und Schweine im Seuchenfall mittels Hirn-Herz-Durchströmung, das ebenfalls auf dem Umsetzen der Elektroden vom Kopfansatz zum Ansatz Brustwand-Brustwand beruhte (DEMMLER (1988), MICKWITZ ET AL. (1989)) und schlug die Weiterentwicklung einer halbautomatischen asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung zum Routineverfahren für die Schweinebetäubung vor (MICKWITZ U. LEACH (1977), MICKWITZ (1982), MICKWITZ (1987)).

Die Erprobung eines Betäubungssystems mit drei Elektroden (zwei Kopfelektroden und eine Herzelektrode) für die halbautomatische asynchrone Hirn-Herz-Durchströmung im V-förmigen Restrainer wurde vor rd. sieben Jahren von Prof. G. v. Mickwitz (pers. Mitteilung) an einem Schlachtbetrieb in Schleswig-Holstein initiiert. Durch die Trennung der Stromkreise für Kopf- und Herzdurchströmung entstand die Möglichkeit, verschiedene Stromparameter für die Wirkung am Hirn und am Herzen einzusetzen. Einige Hersteller bieten entsprechend gesteuerte Betäubungsgeräte für die automatische (Vollautomatisches Betäubungssystem MIDAS der Firma STORK) und halbautomatische Hirn-Herz-Durchströmung an (automatische Betäubungsstromsteuerung bei manuellem Elektrodenansatz von den Firmen GEDE, JUNG, FUHRMANN). Daneben wird an einigen Betrieben ein Umsetzen der Betäubungszange praktiziert, so daß nach der Kopfdurchströmung ein Kammerflimmern durch einen diagonalen Ansatz von Stirn oder Auge zur Brustwand ausgelöst wird (FEHRENBURG (1991)).

Kammerflimmern kann durch Strom-Impulsfolgen (Wechselströme, intermittierende Gleichströme und technische Stromformen wie Strompakete etc.) ausgelöst werden, wenn das Herz in der Strombahn liegt und Impulse während der „vulnerablen Phase“ des Herzens, d.h. in der Phase der Erregungsrückbildung an den Kammern (im PQRST-Modell zwischen S und T), einwirkt. Die Dauer des Stromflusses spielt durch die proportional wachsende Wahrscheinlichkeit eines wirksamen Impulses ebenfalls eine Rolle (FERRIS ET AL. (1936), KAMPHUIS (1982), BIEGELMEIER (1986)). Infolge einer direkten, überschwelliger Erregung einer gewissen Menge von Herz-

muskelfasern kommt es durch die besonderen Reizweiterleitungseigenschaften der Herzmuskelzellen zu sog. „kreisender“ Erregungsausbreitung, die die Rückkehr zur Herzautomatie verhindert. Starke Schläge oder Stöße auf den Brustkorb, beispielsweise beim Auswurf aus dem Restrainer oder Fallen vom Band, können jedoch zu Defibrillieren und normaler Herztätigkeit führen (GREGORY (1985)).

Folgende Einflußfaktoren auf die Flimmerwirkung fließenden Stromes sind festgestellt worden (FREIBERGER (1934), FERRIS ET AL. (1936), KAMPHUIS (1982), REINHARD U. MICKWITZ (1967, 1969a, 1969b), BIEGELMEIER (1986), DEMMLER (1988), FEHRENBURG (1991), FEHRENBURG ET AL. (1991)):

- steigendes Flimmerrisiko mit steigender Stromflußdauer
  - steigendes Flimmerrisiko mit steigender Spannung und Stromstärke
  - sinkendes Flimmerrisiko bei sinkender Impulsdauer oder steigender Frequenz
- Bei Frequenzen oberhalb von 100Hz sind erheblich höhere Stromstärken erforderlich (FERRIS ET AL. (1936), BIEGELMEIER (1977, 1986)).

FERRIS ET AL. (1936) lösten bei Schweinen (~80kg) bei einem Stromfluß von AC\_0,24A\_60Hz zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen unter Laborbedingungen sicher Kammerflimmern aus. Nach MICKWITZ U. REINHARD (1967) ist mit der Auslösung von Kammerflimmern ab einer Feldstärke von 100mV/cm<sup>2</sup> am Herzen des Schweines zu rechnen. DEMMLER empfahl als sichersten Elektrodenansatz für die Tötung eine Elektrodenpositionierung beiderseits am Brustkorb des Schweines bei cranial gezogenen Vordergliedmaßen auf Höhe der Buggelenke im 3.-6. Zwischenrippenraum, bei der er die höchsten Feldstärken messen konnte (DEMMLER (1988)). WOTTON U. GREGORY (1986) gelang die Auslösung von Herzkammerflimmern mit AC\_30V\_50Hz\_3s bei acht Schweinen (rd. 55kg KG), wobei der Strom durch die EKG-Elektroden in Herznähe auf beiden Seiten des Thorax geleitet wurde.

BRINKMANN U. SCHAEFER (1982) berichteten, daß beim Menschen sehr hohe Stromstärken (~10A) seltener ein Kammerflimmern auslösten. Die Autoren vermuteten, daß sehr starke Ströme möglicherweise einen synchronisierenden Einfluß auf alle Teile des Herzens ausüben, und den Reentry-Mechanismus, der das Kammerflimmern aufrecht erhält, verhindern.

Bezüglich der Zeitdauer zwischen Auslösung von Kammerflimmern und dem Eintreten einer isoelektrischen EEG-Ableitung beim Schwein gibt HOENDERKEN (1978) einen Mittelwert von 23,4s nach synchroner Hirn-Herz-Durchströmung an.

WOTTON U. GREGORY (1986) leiteten beim Schwein  $25s \pm 3s$  (N=8) nach Kammerflimmern (ohne Entblutung) ein isoelektrisches EEG ab (eine Sekunde früher als nach thorakalem Entblutestich ohne Kammerflimmern ( $26s \pm 3$  (N=8))). Die Autoren registrierten visuell evozierte Potentiale (VEP) bis  $19s \pm 1$  nach der Auslösung von Kammerflimmern gegenüber  $18s \pm 1$  nach sachgemäß durchgeführtem Stechen.

#### **2.4.4.1 Felduntersuchungen zur asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung bei Schlachtschweinen**

Zur Überprüfung der Auslösung von Herzkammerflimmern unter Praxisbedingungen empfahlen FERRIS ET AL. (1936), BLACKMORE ET AL. (1979) und GREGORY (1985) die Auskultation der Herztätigkeit, die sich als gleichwertig zu der Messung mittels Elektrokardiogramm erwiesen habe. Beide Methoden erwiesen sich bei den im Folgenden angesprochenen Untersuchungen als problematisch, weil EKG-Aufzeichnungen leicht durch bewegungsbedingte Artefakte und auskultatorische Befunde durch Geräusche gestört wurden. FEHRENBURG (1991) fand nach Auslösung von Kammerflimmern (Überprüfung mittels EKG) bei allen Tieren eine maximale Pupillendilatation, und empfahl die Überprüfung dieses, als Kennzeichen eines manifesten Kammerflimmerns postulierten, Symptoms.

Im Rahmen der Routineschlachtung in der Betäubungsbucht untersuchte FEHRENBURG (1991) synchrone Hirn-Herz-Durchströmung bei einem Ansatz der Betäubungszange zwischen Stirn und Sternum und der Verwendung verschiedener Spannungen (AC\_95V\_5s\_50Hz\_Sinus und AC\_126V\_5s\_50Hz\_Sinus). WALTER (1991) und KIRCHNER (1992) beschrieben den Ansatz Stirn-Brustwand auf Höhe des Buggelenkes nach Umsetzen der Handzange (AC\_90V und AC\_250V). Die halbautomatische Betäubungsanlage, die bei den Untersuchungen von FREITAG (1994) zum Einsatz kam, war mit drei Elektroden (zwei Kopf- und einer Herzelektrode mit Ansatz an der Brustwand) zur asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung ausgestattet.

KIRCHNER (1992) stellte mittels Auskultation Herzkammerflimmern bei allen untersuchten Tieren (N=90) nach einer Herz-Durchströmung mit 230-250V für 5-8s fest, WALTER (1991) diagnostizierte Herzkammerflimmern mittels EKG ebenfalls bei allen Tieren, und auch FEHRENBURG (1991) stellte Kammerflimmern mittels EKG bei 28 von 30 Tieren fest (AC\_95V\_5s\_50Hz\_Sinus und AC\_126V\_5s\_50Hz\_Sinus). Die beiden Tiere ohne Kammerflimmern waren mit 95V für 5s mit dem Ansatz Stirn-Sternum durchströmt worden, bei einem Tier rutschte die Zange während der Betäubung ab. Bei Verwendung von 126V für 5s wurde in jedem Fall Kammerflimmern ausge-

löst. HOENDERKEN (1978) stellte Kammerflimmern bei einem Teil der Tiere auch nach einem Elektrodenansatz Stirn und Nacken/Rücken (25-30cm hinter den Ohren) sowie beim Ansatz Ohrgrund-Ohrgrund bei Verwendung von 300V für 5s fest.

Korrekt durchgeführte asynchrone Hirn-Herz-Durchströmung mit Auslösung von Kammerflimmern geht mit einem typischen Bild bei den betäubten Tieren einher, so daß eine indirekte Beurteilung des Kammerflimmerns auch anhand der Beobachtung der Tiere während und nach der Entblutung möglich ist. Bei Auslösung von Kammerflimmern (resp. bei Elektrodenansätzen, die zu Kammerflimmern führen) ist eine wesentlich geringere Ausprägung und verkürzte Dauer der klonischen Krämpfe und der Schlachtkörperbewegungen während der Ausblutung beobachtet worden (MICKWITZ U. LEACH (1977), HOENDERKEN (1978), WYSS (1985), WOTTON U. GREGORY (1986), FEHRENBURG (1991), WALTER (1991), KIRCHNER (1992), FREITAG (1994)).

WOTTON ET AL. (1992) untersuchten bei Head-to-back-stunning (synchrone Hirn-Herz-Durchströmung) den Einfluß der Position der hinteren Elektrode auf die Ausprägung der (klonischen) Krampfaktivitäten nach Betäubungsende. Sie stellten fest, daß diese immer mehr zurückgingen, je weiter caudal am Brustkorb (Wirbelkörper T<sub>1</sub>-L<sub>1</sub>) die Rücken-Elektrode angelegt wurde.

#### **2.4.4.2 Einfluß des Kammerflimmerns auf die Ausblutung**

Die Entblutung war schon seit dem Altertum wesentlicher Bestandteil der Schlachtung und Herrichtung des Fleisches als Lebensmittel. Das Verbot des Verzehres von Blut oder Fleisch von nicht entbluteten Tieren ist Bestandteil der Ernährungsvorschriften in den Büchern Mose. Hier wurde dem Blut des Tieres ein spiritueller Wert zugewiesen. OSTERTAG (1902) verwies auf den Zusammenhang zwischen Haltbarkeit des Fleisches und ausreichender Entblutung des Tieres. Er beobachtete, daß nach Schlachtung von transporterschöpften oder kranken Tieren größere Blutmengen im venösen Gefäßschenkel (insbesondere in Leber und Eingeweiden) feststellbar waren, und dieses Bild den Verhältnissen bei der sog. „Kaltschlachtung“, d.h. der Zerlegung toter Tiere, entsprach. OSTERTAG schlußfolgerte, daß die vollständig erhaltene „Herzkraft“ für eine ausreichende Entblutung essentiell sei und die bei kranken oder erschöpften Tieren „erlahmende Herzkraft“ mit der Folge verringerten Blutdruckes die höhere Blutfülle in Venen und Geweben verursache. Das seinerzeitige auf das Herz als Zentralorgan des Blutkreislaufes konzentrierte Verständnis des Kreislaufgeschehens wurde inzwischen durch die Erkenntnisse zum Beitrag der Blutgefäße bei der Blutdrucksteuerung und im Zusammenhang mit dem Schockgeschehen ergänzt.

Verschiedene Autoren haben sich mit den Auswirkungen des Kammerflimmerns nach Hirn-Herz-Durchströmung auf die Fleischqualität und das Ausbluten bei Schweinen beschäftigt (HOENDERKEN (1978), FEHRENBURG (1991), FEHRENBURG ET AL. (1991), WALTER (1991), KIRCHNER (1992), FREITAG (1994)). Übereinstimmend waren keine negativen Auswirkungen auf die Fleischqualität, den Ausblutungsgrad oder die Häufigkeit von Frakturen nachweisbar. Im Gegenteil sind infolge des Rückganges der Exzitationen am Band tendenziell höhere pH-Werte am Schinken der geschäckelten Gliedmaße gemessen worden.

Untersuchungen zur Methode der Entblutung machten deutlich, daß die Schnittführung bei der Entblutung größeren Einfluß auf die Ausblutungsgeschwindigkeit und -menge hat, als die Herztätigkeit: WARRIS U. WOTTON (1981) zeigten, daß die Herztätigkeit bei dem bei Schweinen gebräuchlichen thorakalen Entblutestich (Eröffnen von *V. cava cranialis* und *Tr. bicarotis*, Schnittführung durch die *Apertura thoracis cranialis*) keine Auswirkungen auf den Blutentzug hat.

Bei der gebräuchlichen Entblutungsmethode bei Schafen und Großvieh durch Eröffnen der Carotiden war hingegen ein Einfluß der Herztätigkeit nachweisbar, und Gesamtblutmenge und Geschwindigkeit des Blutentzuges waren bei Auslösung von Kammerflimmern geringer (BLACKMORE U. DELANY (1988)). KIRTON ET AL. (1980-81) fanden bei Head-to-back stunning von Schafen (N=559) eine nahezu halbierte Ausblutungsmenge in den ersten 2min nach dem „spear sticking“ (Seitlicher Einstich und Schnittführung ohne Verletzung des Oesophagus (Abb. 5)) gegenüber Head-only-stunning oder Schächten. Die Schlachtkörper wiesen aber keine signifikant höheren Residualblutmengen auf, die Ausblutung war demnach nur verzögert. Die Häufigkeit und Ausprägung von Blutpunkten („blood-splash“) bei Hirn-Herz-Durchströmung war gegenüber der alleinigen Kopfdurchströmung wesentlich verringert (KIRTON ET AL. (1980-81)). GREGORY ET AL. (1984) kamen zu ähnlichen Ergebnissen.

BLACKMORE U. DELANY (1988) unterstrichen, daß infolge des thorakalen Entblutestichs und den anatomischen Verhältnissen beim Schwein nicht mit einer negativen Beeinflussung der Entblutung durch das Kammerflimmern zu rechnen sei. WARRIS U. WOTTON (1981) stellten bei ihren Untersuchungen an im Hängen ausblutenden Schweinen fest, daß bei der Entblutemethode mit thorakalem Entblutestich unabhängig von vorhandener Herztätigkeit mengenmäßig 95% der Gesamtausblutung innerhalb von 120s austritt. SWATLAND (1983) hingegen gibt an, daß ohne Auslösung von Herzkammerflimmern bereits nach 102s keine nennenswerten Blutmengen mehr aufgefangen werden konnten.

Alle Autoren kommen zu dem Schluß, daß der Betäubung mittels Hirn-Herz-Durchströmung vor dem Hintergrund fehlender Fleischqualitätsunterschiede aus Tierschutzgründen Vorrang vor der alleinigen Hirndurchströmung gegeben werden sollte (MICKWITZ U. LEACH (1977), GREGORY (1985, 1993), WORMUTH U. SCHÜTT-ABRAHAM (1986), BLACKMORE U. DELANY (1988), SCHÜTT-ABRAHAM (1990), FEHRENBURG (1991), WALTER (1991), KIRCHNER (1992), FREITAG (1994)). WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM unterstrichen, daß die Auslösung von Kammerflimmern während oder nach der Betäubung in keinem Widerspruch zur Fleischhygienegesetzgebung und zum Gebot des Tötens durch Entblutung stehe (WORMUTH U. SCHÜTT-ABRAHAM (1986), SCHÜTT-ABRAHAM (1990)).

## 2.5 Kriterien zur Bewertung und Überprüfung von Betäubungsverfahren bei der Schlachtung von Schweinen

Verschiedene Autoren haben sich im Rahmen der Diskussion zur Tierschutzgerechtigkeit der Elektrobetäubung zu Kriterien, die eine objektive wissenschaftliche Bewertung von Betäubungsverfahren und deren Überprüfung vor Ort erlauben, geäußert.

HOENDERKEN (1978) schlußfolgerte für die Elektrobetäubung, der Betäubungseffekt basiere auf einem elektrisch induzierten „epileptischen Anfall“ (generalisierter cerebraler Anfall (GCA), siehe Kap. 2.3.1, S.6), und die Effektivität der Betäubung sei nur mit Hilfe der Elektroencephalographie objektivierbar.

MOSFELD LAURSEN (1982) hielt dem entgegen, daß die Messung von Hirnströmen (resp. ihre Beurteilung im Zusammenhang mit elektrischer Betäubung) über die grundsätzliche Feststellung der Auslösung eines GCA hinaus fragwürdig erscheine, weil sich die Bewertungskriterien auf Erfahrungen mit der Narkose beim Menschen bezögen. BLACKMORE U. DELANY (1988) stellten den Wert von EEG- oder ECoG-Messungen bei differenzierteren Fragestellungen der Betäubung ebenfalls in Frage. Gehirnstrommessungen erlaubten objektive Aussagen nur zu der Dauer des GCA mit unphysiologisch hoher Amplitude.

BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a) stellten in einem Übersichtsartikel dar, daß für die objektive Bewertung des Endens der Betäubungswirkung (im Sinne von wiedergekehrter Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit) das Vorhandensein willkürlicher (zielgerichteter) Bewegungen, Reaktionen und EEG-Ableitungen wie bei unbetäubten Tieren und das Vorhandensein der Antwort auf konditionierte Reflexe herangezogen werden könnten. Die Autoren diskutierten die Schwierigkeiten der Einordnung der Ergebnisse o.g. Studien und kamen zu dem Schluß, daß eine Bewertung „zweifelsfrei tierschutzgerecht“ („humane“) aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen die Voraussetzung für den Einsatz einer Betäubungsmethode - insbesondere für neue Methoden - in der Praxis sein sollte.

Nach BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a) sind die Umstände der Entblutung (Zeitpunkt, Verfahren) für die Tierschutzgerechtigkeit eines Betäubungsverfahrens ebenso entscheidend wie die Parameter der Betäubungsauslösung, es sei denn, die Betäubung führe zu einem sofortigen und anhaltenden Zustand von Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit, wie bei der Bolzenschußbetäubung oder der Kombination von Elektrobetäubung mit der Auslösung von Kammerflimmern.

### **2.5.1 Praxisnahe Verfahren zur Überprüfung der Effektivität der Schlachtschweinebetäubung in der Literatur**

Der elektrisch induzierte generalisierte cerebrale Anfall (GCA) stellt nur für eine begrenzte Zeit Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit sicher. Dies gilt uneingeschränkt für die Zeitdauer der hypersynchronen Phase des GCA (T1 in Abb.1 (s.S. 19), die beim Schwein nach HOENDERKEN (1978), SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983), SWATLAND ET AL. (1984), LAMBOOIJ ET AL. (1985) sowie ANIL U. MCKINSTRY (1992) mindestens 17-48s nach Betäubungsbeginn anhielt.

Bei korrekt durchgeführtem thorakalen Entblutestich traten beim Schwein erst nach bis zu 25s (BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a)) isoelektrische Ableitungen im EEG auf. WOTTON U. GREGORY (1986) kamen zu einem ähnlichen Wert von  $26s \pm 3s$ . HOENDERKEN (1978) gibt einen Zeitraum von 12-26s bei erfahrenen Stechern und bis zu über 62s bei unerfahrenem Personal an, der zwischen Stechen und cerebraler Inaktivität (isoelektrisches EEG) verstreichen kann (Abb. 6 (s.S. 35)). Es kommt bei verzögertem oder unsachgemäß durchgeführtem Stechen an Schlachtbetrieben mit alleiniger Hirndurchströmung zur Wiederkehr des Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögens von Schlachtschweinen, die sich trotz Blutverlustes von der Betäubung erholen konnten, wie bereits durch FAHRBACH (1948) kritisch angemerkt wurde.

Die Beurteilung der Tierschutzgerechtigkeit einer elektrischen Betäubung in der Praxis muß sich demnach der Feststellung der Auslösung eines GCA einerseits widmen und andererseits das Ausbleiben der Erholung von dem GCA (Wiederherstellung des Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögens) infolge der Unterbrechung der cerebralen Blutversorgung (Kammerflimmern, Entblutung) dokumentieren.

Zur Beurteilung der Effektivität der Elektrobetäubung bei Schweinen wurde vor dem Hintergrund der Interpretation der EEG-Aufzeichnungen vorgeschlagen, das Auftreten der Symptome des durch eine elektrische Betäubung hervorgerufenen generalisierten cerebralen Anfalls (GCA), nämlich der Grand mal-typischen tonisch-klonische Krämpfe im Anschluß an die Durchströmung, heranzuziehen (HOENDERKEN (1978), ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992)). Nach LOPEZ DA SILVA (1982) kann die Krampfsymptomatik auch deshalb zur Überprüfung der Effektivität einer Betäubung benutzt werden, weil sich Verhaltensänderungen parallel zu den Veränderungen des EEG ergeben. Eine effektive elektrische Betäubung führe zu einer tonischen Verkrampfung, gefolgt von klonischen Krämpfen und einer finalen komatösen Phase. Bei Hirn-Herz-Durchströmung ist die Symptomatik der tonisch-klonischen Krämpfe (s. Kap. 2.4.4 (s. S. 50)) abgeschwächt, wodurch deren Bewertung erschwert wird.

Während des GCA (T1 in Abb. 1) sind grundsätzlich keine regelmäßige Atmung, Lautäußerungen, Reflexe oder Reaktionen (bspw. auf den Entblutestich) feststellbar (HOENDERKEN (1978), ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992), WARRIS U. WOTTON (1981), GREGORY (1985), WYSS (1985), WOTTON U. GREGORY (1986), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989a, 1989b), TROEGER (1990, 1991), WOLTERS DORF (1990)). Bei Reflex- und Reaktionsprüfungen direkt im Anschluß an die Betäubung muß allerdings berücksichtigt werden, daß möglicherweise nur die Reiz-Reaktionskette des jeweiligen Tests betroffen sein kann (ROOS U. KOPPMANNS (1936)). Die Elektrobetäubung kann nach LOPEZ DA SILVA (1982) in einigen Fällen direkt in die komatöse Phase übergehen.

Im Zusammenhang mit dem Wiedereintritt von Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen wurden folgende Reaktionsprüfungen beim Schwein beschrieben, die in der Praxis zur Beurteilung des Fortschreitens der Erholung von dem GCA herangezogen werden können (FAHRBACH (1948), ANIL (1991), ANIL U. MCKINSTRY (1992), WARRIS U. WOTTON (1981), GREGORY (1985), WYSS (1985), WOTTON U. GREGORY (1986), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989a, 1989b), TROEGER (1990, 1991), WOLTERS DORF (1990)):

- Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung und Reaktion auf Schmerzreize (Nadelstiche in die Rüsselscheibe oder den Zwischenklauenspalt), Lautäußerungen
- Gerichtete Augenbewegung, Lautäußerungen
- Anheben des Kopfes, Aufstehversuche, Aufrichten in der Vorderhand in hunde-sitziger Stellung, Lautäußerungen (Schreien)
- Aufstehen und Gehen (ggf. auf dem Entblutband), Ausweichen und Fluchtverhalten gegenüber Betäuber

MICKWITZ U. LEACH (1977) beurteilten die Elektrobetäubung anhand einer Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex), schränkten jedoch ein, daß diese Reflexe teilweise schwer zu interpretieren seien. Darüberhinaus prüften sie, ob eine sichtbare Reaktion auf den Entblutestich oder das Anschlingen der Hintergliedmaße erfolgte.

Reflexe am Auge im Zusammenhang mit der Kopfdurchströmung wurden schon von ROOS U. KOOPMANS (1936) diskutiert. Die Autoren kamen zu dem Schluß, daß deren Überprüfung durch die direkte Stromeinwirkung bei der Kopfdurchströmung auf die reizleitenden Strukturen (aufsteigender und absteigender Schenkel der Nervenleitung) und die Muskulatur (Effektor) leicht zu falsch-negativen Ergebnissen führen könnte. Dagegen sei eine positive Reaktion als Anzeichen einer intakten Reiz-Reaktions-Kette zu verstehen und somit zur Beurteilung mangelhafter Betäubung verwendbar. Sie

räumten ebenfalls Schwierigkeiten bei der Beurteilung durch die Überlagerung der Reflexe durch die tonisch-klonischen Krampfaktivität ein.

WYSS (1985) berichtete, daß der Cornealreflex und die Reaktion einer Gliedmaße auf ein Kneifen in den Zwischenklauenspalt in vielen Fällen nicht eindeutig interpretierbar gewesen seien. Er benutzte zur Betäubungsüberprüfung daraufhin einen Schnitt mit dem Messer in die Haut an der Schläfe und beurteilte die Betäubung bei Tieren als unzureichend, wenn diese auf den Schnitt mit einer Bewegung reagierten. Er führte vergleichende Untersuchungen 20-30s nach Ende der Handzangen-Betäubungen mit 220V, 260V und 320V Betäubungsspannung (Buchtenbetäubung ohne standardisierte Betäubungszeiten) und der Betäubung mit Elektrodengabel mit 75V Betäubungsspannung (V-förmige Fixation) durch. Er stellte den höchsten Anteil positiver Reaktionen auf den Hautschnitt bei 75V fest (40%, N=200) und den niedrigsten nach Betäubung mit 260V (6%, N=200). Er schlußfolgerte, daß einerseits 75V Betäubungsspannung für die Betäubung nicht ausreichten, andererseits aber auch bei hoher Betäubungsspannung nicht immer ein Betäubungserfolg<sup>3</sup> eingetreten sei, was er auf Mängel der Elektroden und deren Plazierung zurückführte. WYSS machte keine Angaben zu dem genauen Zeitpunkt seiner Untersuchungen nach Betäubungsbeginn.

ANIL (1991) und ANIL U. MCKINSTRY (1992) untersuchten die Dauer der Betäubungswirkung bei Schweinen (ohne Schlachtung) anhand der Bewertung der Krampfaktivität (tonisch-klonische Phase), Reflexe am Auge (Lid- und Cornealreflexe), einer Reaktion auf einen Nadelstich in die Rüsselscheibe und des Wiedereinsetzens der Atmung. Für die Dauer (ab Betäubungsbeginn) der tonischen Phase stellte ANIL (1991) nach alleiniger Kopfdurchströmung mit AC\_50Hz\_Sinus 100-300V für 3-7s einen Mittelwert (N=115) von  $11s \pm 1,1$  (0-54) fest, die klonische Phase (N=) dauerte danach im Mittel  $27s \pm 2,4$  (0-57) an. Regelmäßige Atmung setzte im Mittel  $44s \pm 2$  (18-66) nach Durchströmungsbeginn wieder ein, der Cornealreflex war nach  $49s \pm 2,3$  (24-87) wieder auslösbar und eine eindeutige Reaktion auf Nadelstiche in die Rüsselscheibe war nach  $56s \pm 2,7$  (27-96) festzustellen. Gerichtete Augenbewegungen im Mittel  $61s \pm 2,8$  (29-103) nach Betäubungsbeginn bewertete ANIL (1991) als Zeichen eines „conscious state“.

---

<sup>3</sup> WYSS (1985) bewertete die Reaktion auf den Schnitt letztlich nicht als Kennzeichen der Erholung vom GCA sondern als Merkmal „nicht ausreichender Betäubung“. Dies wäre als „fehlende Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles“ zu interpretieren. Zusammenhänge mit der Entblutung werden von ihm nicht diskutiert.

ANIL (1991) und ANIL U. MCKINSTRY (1992) konstatierten, daß bei Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung eine wahrnehmungsgekoppelte Erholung des Stammhirnes (resp. dessen Funktionsfähigkeit) anzunehmen sei und bereits bei der Reaktion auf den Nadelstich in die Rüsselscheibe mit hoher Wahrscheinlichkeit eine weitgehende Erholung der Tiere von dem GCA stattgefunden habe. Die Überprüfung des Cornealreflexes habe sich demgegenüber als unsicher herausgestellt, und sie empfahlen eine Beobachtung der Atemtätigkeit in der Praxis, da dieses leicht zu beurteilen sei. Gerichtete Augenbewegung sei als Zeichen wiedergekehrten Bewußtseins zu werten.

FEHRENBURG (1991) benutzte ebenfalls den Cornealreflex zur Einschätzung effektiver Betäubung. Sie wertete anhand ihrer Untersuchungen das Auftreten einer maximal geweiteten, randlosen, reaktionslosen Pupille (maximale Pupillendilatation) bei Hirn-Herz-Durchströmung als sicheres Kennzeichen effektiver Betäubung mit Kammerflimmern. BLACKMORE U. DELANY (1988) diskutierten das Verschwinden des Pupillarreflexes kontrovers und kamen zu dem Schluß, daß dessen Bedeutung im Rahmen der Betäubung noch zu wenig untersucht worden sei. BLACKMAN ET AL. (1986) fanden einen Einfluß der Blutversorgung der Retina auf das Vorliegen des Pupillarreflexes.

Bei Kälbern werteten BLACKMORE U. NEWHOOK (1982b) das Anheben der Kopfes der am Boden liegenden Tiere als Merkmal wiederhergestellten Sensoriums. GREGORY (1993), ANIL ET AL. (1995a) und GREGORY ET AL. (1996) interpretierten dieses Merkmal als Kennzeichen wiedererlangten Bewußtseins und weitgehender Erholung von Rindern und Kälbern nach elektrischer Betäubung.

### **2.5.1.1 Neurologische Untersuchungsverfahren bei der Elektrobetäubung**

Die oben angeführten Reaktions- und Reflexprüfungen, die im Zusammenhang mit der Elektrobetäubung eingesetzt wurden, entstammen den klinischen Untersuchungsmethoden bei der neurologischen Untersuchung und der Narkoseüberwachung.

WARRINGTON (1974), HOENDERKEN (1978), MOSFELD LAURSEN (1982), GREGORY (1985), BLACKMORE U. DELANY (1988), WOTTON (1995) verweisen jedoch darauf, daß die Überprüfung der Elektrobetäubung bzw. der Erholung von dem hierbei ausgelösten generalisierten cerebralen Anfall (GCA) mit Methoden zur Überprüfung der intakten Funktion des Gehirnes (im Sinne des Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögens) im Rahmen der Narkoseüberwachung infolge des grundsätzlich anderen Wirkungsmechanismus bei der Elektrobetäubung nur bedingt herangezogen werden können. Reaktionen auf Schmerzreize an den Extremitäten oder Stellreflexe, die in der Klinik

zur Beurteilung der Reaktionsfähigkeit peripherer Nervenbahnen herangezogen werden, können infolge der tonisch-klonischen Krampfaktivitäten und der Rahmenbedingungen der Schlachtung nicht eingesetzt werden (und sind für die Fragestellung nicht relevant).

Die neurologische Untersuchung der Gehirnfunktion zielt auf die Feststellung der Lokalisation der Störung. Dabei wird am unbetäubten Tier durch die Kombination von Tests, die verschiedenen Gehirnnerven zugeordnet werden (z.B. Reaktion auf Einführen eines Fremdkörpers in die Nasenöffnung -> *N. trigeminus* (V)), der Sitz einer Schädigung im Gehirn festgestellt (GEORGE (1990)). Zur Beurteilung der Betäubung sind derartig Kombinationsprüfungen in der Literatur nicht beschrieben, sie erscheinen auch vor dem Hintergrund der Praxisbedingungen bei Betäubung und Schlachtung schwerlich durchführbar.

Bei der Narkoseüberwachung kommen Reflexe (Pupillar-, Corneal-, Lid-, Schluck-, Hustenreflex), Befunde zu Atmung und Kreislauf sowie Reaktionstests (Kneifen und Stechen in die Nase, Nasenscheidewand, Haut oder Zwischenklauenbereiche) zum Einsatz. Die einzelnen Reflexe/Befunde/Reaktionen werden der Narkosewirkung des Narkotikums<sup>4</sup> auf verschiedene Gehirnbereiche zugeordnet, die je nach Konzentration des Narkotikums nacheinander in ihrer Funktion gestört werden. Je nach dem pharmakologischen resp. pharmakodynamischen Modell der Narkosewirkung des jeweiligen Narkotikums<sup>4</sup> werden diese Prüfungen in den unterschiedlichen Narkosestadien I-IV (Analgesie-, Exzitations-, Toleranz- und Asphyxiestadium) sowie den Unterstadien des Toleranzstadiums (Narkosestadium III) positiv oder negativ ausfallen (BOOTH (1982), BÜCH U. BÜCH (1988), LÖSCHER (1994)). Bei Schweinen kann nach EHRENTAUT U. NOËL (1987), PLONAIT (1988) und HEINRITZI U. KÖNIG (1988) auch das Kneifen in die Rüsselscheibe zur Bewertung ausreichender Narkosetiefe bei der Verwendung der Kombination Metomidat-Azaperon herangezogen werden.

Bei der Narkoseüberwachung soll durch die verschiedenen Tests eine Beeinträchtigung des Atmungs- und Kreislaufzentrums in der *Medulla oblongata* (Stammhirn) durch das Narkotikum vermieden werden, da sonst der Eintritt in das Asphyxiestadium mit Kollaps und Tod des Patienten droht. Gleichzeitig kann so die Wirkung des

---

<sup>4</sup> Zur Wirkungsweise der Narkotika wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl verschiedener Narkosetheorien entwickelt. Verschiedene Wirkstoffe scheinen auf unterschiedliche Weise eine Narkosewirkung zu entfalten. Die moderne Forschung konzentriert sich gegenwärtig auf die Effekte an den Zellmembranen, namentlich auf Lipidstrukturen und Ionenkanäle in der Membran. Andere Narkotika entwickeln offenbar eine indirekte Wirkung über die Neurotransmittersysteme, indem sie die Ausschüttung inhibitorischer Neurotransmitter fördern, deren Rezeptoren beeinflussen (für Barbiturate wird eine Bindungsstelle am GABA-Rezeptor diskutiert (LÖSCHER (1994)) oder exzitatorische Neurotrans-

Narkotikums (Narkosetiefe) auf verschiedene Gehirnareale - anders als bei der Elektrobetäubung, bei der ein generalisierter Anfall das gesamte Gehirn betrifft - gesteuert werden. Verschiedene Narkotika können nach BOOTH (1982) bei Überdosierung auch zum Übergang in einen Krampfanfall führen, der einen oft tödlich endenden Narkosezwischenfall darstellt. Bei Rückgang der Narkosewirkung (Elimination des Narkotikums oder Senken der Konzentration (Gase)) kehren die einzelnen Reflexe/Befunde/Reaktionen in umgekehrter Reihenfolge wieder, d.h. die zuletzt verschwundene Reaktion tritt als erste wieder ein, und markieren so die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der ihnen zugeordneten Gehirnareale.

### **2.5.1.2 Technische Überwachung der Betäubungsanlagen**

Die Messung und Aufzeichnung des fließenden Stromes während der Durchströmung wird im Rahmen der in Vorbereitung befindlichen „Verordnung zum Schutz der Tiere zum Zeitpunkt der Tötung oder Schlachtung“ (TierSchlV; Anl. 3 zu §13) zur Sicherstellung der Tierschutzgerechtigkeit der Betäubung vorgeschrieben. Im Rahmen der technischen Überwachung des Stromflusses zwischen den Elektroden kann gemessen und geprüft werden, ob bei der Durchströmung eine Mindeststromstärke innerhalb einer definierten Zeitdauer erreicht und gehalten wurde (Kap. 2.2 (s.S. 4), Kap. 2.4.2.4 (s.S. 43)).

Verschiedene Autoren zogen die Messung der Stromstärke und -menge des Betäubungsstromes zur Bewertung der Tierschutzgerechtigkeit der Betäubung heran, und leiteten dieses aus den Ergebnissen von HOENDERKEN (1978) ab, der eine sichere Betäubung vom Erreichen einer Mindeststromstärke abhängig machte (TROEGER U. WOLTERS DORF (1988a, 1988b, 1989a, 1989b), WYSS (1985), TROEGER (1990), WOLTERS DORF (1990)).

Der technischen Überwachung der Betäubungsströme mit Hilfe von Flachbrettschreibern oder Aufzeichnungsgeräten zur Sicherstellung tierschutzgerechter Betäubung wurde neben der klinischen Untersuchung am Tier großes Gewicht beigemessen (DAYEN (1989), BOOSEN U. ROMING (1993), BRIESE (1996a, 1996b)). Die Aufzeichnung des Betäubungsstromes allein läßt keinen Rückschluß auf die richtige Platzierung der Elektroden am Kopf oder die Stromwirkung auf das Gehirn des Tieres zu. Die eigentliche Betäubungswirkung kann nur am Tier selbst überprüft werden.

---

mitter hemmen. Gemeinsam ist den heute verwandten Narkotika, daß sie im wesentlichen erregungshemmend wirken, d.h. letztlich die Erregbarkeit der Neurone herabsetzen und dadurch die Funktion der verschiedenen Gehirnareale beeinflussen (BOOTH (1982), BÜCH U. BÜCH (1988), LÖSCHER (1994)).

## **3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN**

### **3.1 Zielsetzung**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, inwieweit das Verhalten von Schlachtschweinen nach der elektrischen Betäubung zur Beurteilung der Tierschutzgerechtigkeit der Methode herangezogen werden kann. Hierbei galt es insbesondere die Eignung einer Reaktionsprüfung an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand zur Feststellung der Betäubungstiefe resp. des Fortschreitens der Erholung von der Betäubung näher zu untersuchen.

Die Untersuchungen boten die Möglichkeit, an verschiedenen Schlachttagen unter weitgehend gleichen Bedingungen (Personal, Zutrieb, Betäubungsprozedere), verschiedene in der Literatur angesprochene Parameter zur Überprüfung der Betäubungseffizienz der Reaktion auf ein definiertes Trauma an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand gegenüber zu stellen.

In einer vergleichenden Untersuchung an Schlachtbetrieben mit Elektrobetäubung sollte eine Einstufung unterschiedlicher Betäubungssysteme (Hirn-Herz-Durchströmung mit verschiedenen Stromparametern, alleinige Kopfdurchströmung) aus Sicht des Tierschutzes erfolgen.

### **3.2 Material und Methoden**

#### **3.2.1 Untersuchungsgut**

Die Untersuchungen nach der Betäubung wurde an Tierkollektiven ausgeführt, die im Rahmen der Routineschlachtung an den verschiedenen Schlachthöfen angeliefert worden waren.

Insgesamt wurden 1.741 untersuchte Tiere an 11 Schlachtbetrieben in 18 Einzeluntersuchungen im Zeitraum vom 1994-1995 in die vorliegende Studie einbezogen.

Die Begleitumstände der Betäubung und die Größe der untersuchten Tiergruppe an den Schlachthöfen variierten infolge unterschiedlicher Tagesschlachtzahlen und Untersuchungsmöglichkeiten. Die Anzahl der untersuchten Tiere ist jeweils die Summe mehrerer Stichproben. Die durchgeführten Untersuchungen in den einzelnen Betrieben sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Nr.	Betrieb (Untersuchung)	Betäubungs-System*	vorgenommene Untersuchungen	N
1	Betrieb 1 (U1)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex) Videoaufzeichnung d. Elektrodenansatzes Videoaufzeichnung d. Exzitationen (ca. 60s) EDV-Aufzeichnung d. Betäubungsströme	120 490
2	(U2)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex) Pupillendilatation ("Weites Auge")	100
3	(U3)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe 40-45s <u>und</u> 70-75s nach Betäubungsbeginn	100
4	(U4)	H-H 300Hz Rechteck	Reaktion an der Rüsselscheibe 40-45s <u>und</u> 70-75s nach Betäubungsbeginn	72
5	Betrieb 2	K 425Hz Rechteck	Reaktion an der Rüsselscheibe	73
6	Betrieb 3	K 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	90
7	Betrieb 4	K 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe	62
8	Betrieb 5	K 425Hz Rechteck	Reaktion an der Rüsselscheibe	50
9	Betrieb 6	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe	68
10	Betrieb 7	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	51
11	Betrieb 8	K 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe	50
12	Betrieb 9	K 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	50
13	Betrieb 10 (U1)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	260
14	(U2)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	77
15	(U3)	H-H 50Hz Sinus	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	97
16	Betrieb 11	H-H Frequenzmod.	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	237
17	Betrieb 12 (U1)	H-H 425Hz Rechteck	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	84
18	(U2)	H-H 500Hz Rechteck	Reaktion an der Rüsselscheibe Reaktionen am Auge (Lid- o. Cornealreflex)	100

Tab. 6: Aufstellung der durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der Studie  
 (\* Elektrodenansatz und Stromform; **H-H** = *Hirn- Herz-Durchströmung (an Betrieb 12 mit Umsetzen der Handzange)*; **K** = *alleinige Kopf-Durchströmung*)

### **3.2.2 Vorgehen bei der Untersuchung**

Der Untersuchung an den einzelnen betäubten Tieren ging die Feststellung der Rahmenbedingungen der Betäubung voraus. Gerätespezifikationen, Betäubungszahlen je Stunde und die zeitliche Abfolge des Vorgehens bei der Betäubung, die im Rahmen dieser Erhebungen ermittelt wurden, sind bei der Besprechung der Ergebnisse an den einzelnen Betrieben tabellarisch angeführt.

Der betriebsspezifische Arbeitsablauf bei Zutrieb und Fixierung, die räumlichen Verhältnisse, Gruppengrößen, der Umgang mit den Tieren im Zutrieb und auffallende Begleitumstände bei der Betäubung wurden vor den weiteren Untersuchungen ebenfalls aufgenommen und leiten den Ergebnisteil für die einzelnen Betriebe ein.

Die Betäubungsdauer und die Dauer zwischen Betäubung und Stechen (Stun-Stick-Intervall) wurden mit einer Stoppuhr bestimmt. Anhand der Zeitdauer ab Betäubungsbeginn bis zum Erreichen des Untersuchungspunktes (Messung mit der Stoppuhr bei einer Stichprobe) wurde die Untersuchungsposition im Bereich der Entblutung ausgewählt und markiert, an der später die Reaktionsprüfungen durchgeführt wurden. Da sich die Untersuchungsposition nach dem Arbeitsablauf und den räumlichen Gegebenheiten am Betrieb zu richten hatte, waren Unterschiede bezüglich des Untersuchungszeitpunktes nach der Betäubung nicht zu vermeiden. Die Reaktionsproben wurden zwischen 30s und 55s nach Betäubungsbeginn durchgeführt.

### **3.2.3 Überprüfung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe**

#### **3.2.3.1 Untersuchungsgang am betäubten Tier**

Die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Studie wurden mit einer modifizierte Flachzange (Abb. 7) durchgeführt, bei der die beiden Zwingen symmetrisch nach innen gebogen worden waren und sich somit nur an der Spitze trafen. Der weiteste Abstand zwischen den Zwingen betrug in geschlossenem Zustand 5,0mm. Die Zwingen wurden 3-4cm tief in beide Nasenöffnungen des liegenden oder hängenden Tieres eingeführt und der Zangenriff mit der Hand zusammengedrückt. Dadurch entstand eine Quetschung an Nasenseptum und Rüsselscheibe im Sinne eines stumpfen Traumas.

Ein unmittelbar auf das Kneifen folgendes Entziehen der Rüsselscheibe (Kontraktion der „Kopfheber“) bei Auslösung des Traumas wurde als „positive Reaktion an der Rüsselscheibe“ gewertet. Diese Ausweichbewegung entspricht dem Wegziehen des



*Abb. 7: Modifizierte Flachzange zur Überprüfung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe. Die beiden Zangenschenkel werden in die Nasenöffnungen des Schweines eingeführt und die Zange mit der Hand zusammengedrückt.*

Kopfes bei liegender Entblutung oder ungerichteten Kopfbewegungen bei hängender Entblutung. War ein Befund infolge von Krampfverhalten unklar, wurde erneut ein Trauma ausgelöst. War eine eindeutige Zuordnung nach dem gesetzten Reiz zu einer Reaktion bei dem Verfahren mit der modifizierten Zange erkennbar, wurde dies als „positiver Reaktion“ (RS positiv) bewertet. Das Ausbleiben einer Reaktion wurde als „negative Reaktion an der Rüsselscheibe“ (RS negativ) gewertet.

### **3.2.3.2 Anatomische Gegebenheiten an der Rüsselscheibe des Schweines**

Die sehr empfindliche Haut am Rostrum suis ist mit Sinneshaaren besetzt und weist feine Poren als Mündungen der Rüsselscheibendrüsen (modifizierte Schweißdrüsen) auf. Der bei ausgewachsenen Schweinen verknöcherte Rüsselknochen liegt zwischen den freien Enden der Ossa nasalia und Ossa incisiva, und ist als das Endstück des sehr starken Nasenscheidewandknorpels aufzufassen, das dem Rüssel beim Aufwühlen des Bodens Halt gibt (ELLENBERGER U. BAUM ((1974), S. 502)).

Für die Auslösung der Reaktion durch das Trauma, das durch Zusammendrücken der modifizierten Flachzange nach dem Einführen in die Nasenöffnungen gesetzt wird, ist die Innervation der Nasenöffnung und ihrer Umgebung sowie der Nasenscheidewand entscheidend. Die entsprechenden Reizleitungsstrukturen sind im Folgenden aufgeführt.

a) Innervation der Nasenöffnung und vordersten Anteile der Nasenscheidewand

> *N. trigeminus* > *N. maxillaris* > *N. infraorbitalis*

>> *N. nasalis extt.* -> Nasenrücken

>> *N. nasalis oralis* -> Nasenöffnung

>> *N. labialis maxillaris* -> Oberlippe

b) Innervation der hinteren Anteile der Nasenscheidewand

> *N. trigeminus* > *N. maxillaris* > *N. pterygopalatinus* (*sphenopalatinus*)

>> *N. nasalis aboralis* > *Ramus medialis* (= *N. septi narium*) -> Nasenseptum

>> *N. vomeronasalis* (& *N. terminalis*) -> Nasenseptum

(nach ELLENBERGER U. BAUM ((1974), S. 941-942); DYCE ET AL. ((1987), S. 734))

Bei GETTY ((1975), S. 1372-1374) wird angegeben, daß die gesamte Nasenscheidewand durch Äste des *N. ophtalmicus* innerviert werde:

> *N. trigeminus* > *N. ophtalmicus* > *N. nasociliaris* > *N. ethmoidalis*

> *Ramus nasalis interna*

>> *R. nasalis medialis u. lateralis* -> Septum und Schleimhaut

>> *R. nasalis externa* -> Nasenöffnung

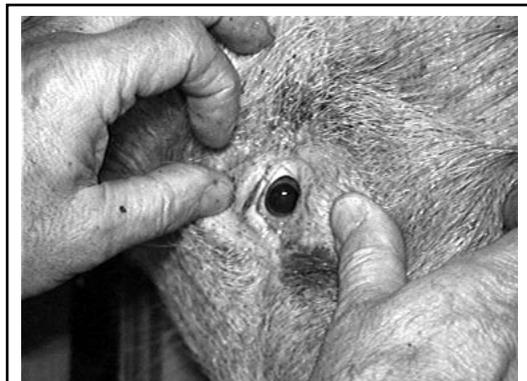
Der *N. trigeminus* ist ein somatomotorischer Gehirnnerv (V. Gehirnnerv) mit Ursprung im Hirnstamm, der entsprechend seiner verschiedenen Faserqualitäten unterschiedliche Kerngebiete besitzt. Die sensible Trigeminiwurzel („*Nucleus terminalis tractus spinalis nervi trigemini*“ (KRÖLLING U. GRAU (1960), S. 410)) steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Spitze des Dorsalhorns des Halsmarkes und der *Subst. gelatinosa dorsalis*. Nach GEORGE ((1990), S. 154) sind das *Metencephalon* und *Myelencephalon* bei motorischen Reaktionen auf die Reizung der sensiblen Trigeminianteile beteiligt.

Als Reaktion auf das Trauma wird das Heben/Zurückziehen des Kopfes registriert, das durch Kontraktion der Hals- und Kopfheber entsteht. Beim Schwein sind hier der *M. rhomboideus* (*cervicalis*, *thoracis* und *capitis*) und der *M. trapezius* (Kopf u. Halsheber) anzusprechen, sowie die besonderen Bewegungen des Kopfes (*M. splenius*, *M. iliocostalis*, *M. longissimus*, *Mm. spinalis*, *Mm. semispinalis* und die *Mm. rectus capitis*), die dem Schwein bei dem Ausführen von Wühlbewegungen dienlich sind und daher stärker als bei anderen Haussäugetieren ausgeprägt sind. Den verschiedenen Kopf- und Halshebern ist ihre Innervation durch Dorsaläste der vorderen Halsnerven gemeinsam (ELLENBERGER U. BAUM ((1974), S. 213-253), NICKEL ET AL. ((1984), S.287 u. S. 306ff ).

Die Reaktion auf ein Kneifen in das Nasenseptum wird beim Schwein auch bei der Narkoseüberwachung überprüft. Die zu erwartende Reaktion ist dabei ebenfalls das Hochreißen oder Wegziehen des Kopfes. In Kombination der Reaktionsprüfung an der Nasenscheidewand mit der Überprüfung des Lid- und Cornealreflexes sowie des Öffnungsgrades der Pupille und der Bewertung der Atmung kann nach HEINRITZI U. KÖNIG (1988), PLONAIT (1988) und NOÉL (1987) das Erreichen des Toleranzstadiums der Narkose festgestellt werden. Je nach Narkotikum fallen die verschiedenen Prüfungen in den Toleranzstadien positiv, abgeschwächt oder negativ aus. Das Verschwinden der Reaktion auf das Kneifen an der Nasenscheidewand wird mit der Wirkung des Narkotikums auf das Stammhirn erklärt.

### **3.2.4 Weitere Reaktionsprüfungen**

Zur Überprüfung von Reaktionen am Auge (Corneal- oder Lidreflex) wurden die Augenlider leicht gespreizt (Abb. 8) und die Cornea mit der Fingerbeere leicht berührt. Eine eventuell auftretende Lidreaktion auf diese Manipulation wurde ebenfalls als „positive Reaktion“ (CR positiv) am Auge vermerkt, wenn diese subjektiv der vorangegangenen Reizung zuzuordnen war.



*Abb. 8: Überprüfung der Pupillenweite, des Lid- und des Cornealreflexes.*

Ferner wurden Lautäußerungen nach der Betäubung und während der Entblutung notiert und bei jedem untersuchten Tier anhand einer Kontrolle der Brustkorb- bewegungen Abwesenheit oder Vorhandensein regelmäßiger Atmung überprüft.

Bei Krampfbewegungen und hängender Entblutung war jedoch eine Beurteilung von Brustkorbbewegungen unsicher, und eine Überprüfung am Auge wurde aufgrund fehlenden Zuganges an einigen Betrieben nicht durchgeführt.

### **3.2.5 Auswertung der Stromaufzeichnung mittels EDV und der Videoaufzeichnung im Rahmen der Untersuchungen an Betrieb 1**

Der Stromstärkeverlauf wurde mit einem Meßgerät („T96“) der Fa. Conrad Electronic GmbH im Abstand von 250 Millisekunden (4Hz Abtastrate, Meßgenauigkeit 10mA) gemessen und mit einem tragbaren Computer in Kombination mit einem Infrarot- modem aufgezeichnet.

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels einer in der Tierärztlichen Ambulanz Schwarzenbek hierfür entwickelten Software. „Richtig betäubt“ kennzeichnete Stromverläufe, bei denen innerhalb der ersten Sekunde des Stromflusses ein Grenzwert von 1,3 Amp erreicht wurde, und diese Stromstärke für mindestens drei Sekunden gehalten wurde. Betäubungen, die diese Vorgaben nicht erfüllen, gelten als „Fehlbetäubungen“. „Doppelbetäubungen“ ergaben sich aus Abrutschen oder Lösen der Elektroden der Betäubungsgabel nach fehlerhaftem Ansatz. Diese Stromverläufe waren sehr kurz und konnten anhand der Pause bis zum nächsten Betäubungsvorgang der vorangehenden oder folgenden Betäubung zugeordnet werden.

Die Kopfelektrodenpositionierung wurde mit einer Videokamera über dem Restrainer aufgezeichnet, und die Elektrodenposition wurde unterschieden in:

- “richtig“: symmetrisch beiderseits direkt hinter dem äußeren Gehörgang oberhalb des Kiefergelenkes ab Beginn der Durchströmung.
- “falsch“: auf einem Ohr oder zu weit hinten am Nacken plaziert.
- “ungenau“: asymmetrisch oder im Verlauf der Betäubung korrigierter Ansatz.
- “nicht beurteilt“: aus Kamerasicht nicht sicher zu bestimmen.

Anhand der Videoaufzeichnung wurde außerdem die Ruhiglage auf dem Entblutband bewertet und den einzelnen Betäubungsvorgängen zugeordnet. Der Übergang in den nächsten Raum, der durch eine Kunststoffschrürze über der Liegendentblutung abgegrenzt war und ca. 60-65s nach Beginn der Betäubung von den Tieren passiert wurde, wurde als Zeitmarke gewählt. Als „auffällige Exzitationen“ wurden alle Tierbewegungen bewertet, die über das Vorliegen langsamer, paddelnder Gliedmaßenbewegungen hinausgingen wie z. B. Konvulsionen des ganzen Tierkörpers, krampfartiges Schlagen der Vorder- oder Hintergliedmaßen oder starke Laufbewegungen.

### **3.2.6 Verwendete Computerprogramme**

Statistische Analysen der Betäubungsdaten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS WINDOWS V.6.1.2 auf einem IBM-kompatiblen PC durchgeführt. Qualitative Vergleiche (positive oder negative Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe etc.) wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson aufgestellt, während die Prüfung intervallskalierter Parameter (Stromstärke, -dauer etc.) mittels T-Test erfolgte.

Grafiken, Abbildungen und Tabellen wurden auf einem APPLE POWER MACINTOSH mit LOTUS 1-2-3, ADOBE TABLE 2.0, MACROMEDIA FREEHAND 5.5 und ADOBE PHOTOSHOP 3.0 erstellt, und das Layout erfolgte mit ADOBE PAGEMAKER 6.0.

### **3.2.7 Verwendete Betäubungsanlagen**

GEDE-Betäubungsanlage für Hirn-Herz-Durchströmung (drei Elektroden)

Stromform: 50Hz Sinus-Wechselstrom

Stromstärke: einstellbar von 90-250V jeweils einzeln für Kopfdurchströmung/  
Herzdurchströmung

Stromflußsteuerung: Zeitschaltung (separat für Kopf- und Herzelektroden)

SCHERMER-Handbetäubungsanlage

Stromform: 50Hz Sinus-Wechselstrom

Stromstärke: Typen mit 220V-350V Konstantspannung

Stromflußsteuerung: Zeitschaltung (einstellbar)

FUHRMANN-Handbetäubungsanlage

Stromform: 425Hz Rechteck-Wechselstrom

Stromstärke: Typen mit 220V-250V (einstellbar durch den Hersteller)

Stromflußsteuerung: Gesamtstrommenge in Coulomb (wählbar 15 C oder 18 C)

RENNER-Handbetäubungsanlage

Stromform: 500Hz Rechteck-Wechselstrom

Stromstärke: Typen mit 250V-300V (einstellbar durch den Hersteller)

Stromflußsteuerung: Zeitschaltung (einstellbar)

JUNG-Betäubungsanlage für Hirn-Herz-Durchströmung (drei Elektroden)

Stromform: Frequenzmodulierter Sinus-Wechselstrom  
(Prototyp, einstellbar durch den Hersteller)

Stromstärke: 220V-250V (einstellbar durch den Hersteller)

Stromflußsteuerung: Zeitschaltung (einstellbar)

Adressen d. Hersteller:

FUHRMANN ELEKTRO TECHNIK; Hirtenaue 32/34; 69118 Heidelberg

GEDE SCHLACHTTECHNIK GmbH; Industriegebiet; 35713 Eschenburg-Eibelshausen

JUNG UNIVERSAL KOMMUNICATION & ELEKTROSERVICE; Schmalwiesenweg 4; 61206 Wöllstadt

SCHERMER; Inh.: Karl-Ulrich Vetter; Einsteinstr. 51; 76275 Ettlingen

RENNER SCHLACHTHAUSTECHNIK GmbH; Fachsenfelder Str. 33; 73453 Abtsgemünd

### **3.3 Überblick über die durchgeführten Untersuchungen an den einzelnen Betrieben**

Insgesamt wurden bei 1.741 Tiere in 12 Betrieben (18 Einzeluntersuchungen) nach elektrischer Betäubung das Vorliegen einer Reaktion auf ein Trauma an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand untersucht, bei 1.266 Schweinen in 7 Betrieben (11 Einzeluntersuchungen) wurde außerdem die Reaktionsfähigkeit am Auge (Lid- und/oder Cornealreflex) überprüft. In Tabelle 7 (S. 74) sind die vorgenommenen Untersuchungen und deren Ergebnisse in den verschiedenen Betrieben zusammengestellt.

An Betrieb 1 (U1)<sup>3</sup> wurden neben den angesprochenen Reaktionsprüfungen nach der elektrischen Betäubung bei 490 Betäubungsvorgängen eine EDV-Auswertung der aufgezeichneten Betäubungsstromstärken, eine Videoauswertung des Elektrodenansatzes am Kopf (N=120) und der Exzitationen 60-65s nach Betäubungsbeginn (N=120) vorgenommen. In weiteren Untersuchungen an Betrieb 1 (U2-U4) wurde bei den Tieren das Vorliegen einer Pupillendilatation (Betrieb 1 (U2)) sowie die Reaktion auf die Reizung an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand mit der modifizierten Flachzange zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Betäubungsbeginn (40-45s und 70-75s) bei Verwendung unterschiedlicher Stromformen / Frequenzen zur Betäubung untersucht (U3 u. U4). Die diesbezüglichen Ergebnisse sind unter Kap. 3.4 aufgeführt.

An Betrieb 10 (U1-U3) und Betrieb 12 (U1 u. U2) konnten die Untersuchungen zu Reaktionen nach der elektrischen Betäubung an verschiedenen Untersuchungstagen mit unterschiedlichen Betäubungsgeräten bzw. Geräteeinstellungen bei gleichbleibenden Schlachtbedingungen (Schlachtzahl, Stun-Stick-Zeiten) vorgenommen werden. An beiden Betrieben wechselte jedoch das Personal zwischen den Untersuchungen resp. Untersuchungstagen.

---

<sup>3</sup> An Betrieb 1 bot sich die Möglichkeit alle Untersuchungen (U1-U4) an drei Schlachttagen mit dem selben Personal unter weitgehend gleichen Bedingungen vorzunehmen.

Nr.	Betrieb (Untersuchung)	Betäubungs- System*	Stun-Stick-Time	Anteil positiver Reagenten an der Rüsselscheibe (RS pos.) und am Auge (CR pos.)		N
				RS pos.	CR pos.	
1	Betrieb 1 (U1)	H-H 50Hz Sinus	13-15s	RS pos. CR pos.	34 (28%) 5 (4%)	120
2	(U2)	H-H 50Hz Sinus	13-15s	RS pos. CR pos.	21 (21%) 1 (1%)	100
3	(U3)	H-H 50Hz Sinus	13-15s	RS pos.	22 (22%)	100
4	(U4)	H-H 300Hz Rechteck	13-15s	RS pos.	32 (44%)	72
5	Betrieb 2	K 425Hz Rechteck	19-21s	RS pos.	19 (26%)	73
6	Betrieb 3	K 50Hz Sinus	32-40s	RS pos. CR pos.	47 (52%) 12 (13%)	90
7	Betrieb 4	K 50Hz Sinus	30-40s	RS pos.	37 (60%)	62
8	Betrieb 5	K 425Hz Rechteck	35-40s	RS pos.	28 (56%)	50
9	Betrieb 6	H-H 50Hz Sinus	13-15s	RS pos.	15 (22%)	68
10	Betrieb 7	H-H 50Hz Sinus	11-15s	RS pos. CR pos.	12 (23%) 12 (23%)	51
11	Betrieb 8	K 50Hz Sinus	15-17s	RS pos.	13 (26%)	50
12	Betrieb 9	K 50Hz Sinus	35-45s	RS pos. CR pos.	25 (50%) 6 (12%)	50
13	Betrieb 10 (U1)	H-H 50Hz Sinus	16-20s	RS pos. CR pos.	26 (10%) 12 (5%)	260
14	(U2)	H-H 50Hz Sinus	16-20s	RS pos. CR pos.	11 (14%) 10 (8%)	77
15	(U3)	H-H 50Hz Sinus	16-20s	RS pos. CR pos.	13 (13%) 33 (34%)	97
16	Betrieb 11	H-H Frequenzmod.	11-14s	RS pos. CR pos.	11 (5%) 0 (0%)	237
17	Betrieb 12 (U1)	H-H 425Hz Rechteck	26-33s	RS pos. CR pos.	52 (62%) 4 (5%)	84
18	(U2)	H-H 500Hz Rechteck	26-33s	RS pos. CR pos.	57 (57%) 8 (8%)	100

Tab. 7: Aufstellung der im Rahmen der Studie durchgeführten Untersuchungen zu Reaktionen auf das Trauma an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand (RS pos.) und den Reaktionsprüfungen am Auge (CR pos.) sowie der Ergebnisse dieser Reaktionsprüfungen.

(\* Elektrodenplatzierung und Stromform; **H-H** = Hirn-Herz-Durchströmung (an Betrieb 12 nach manuellem Umsetzen der Handzange); **K** = alleinige Kopfdurchströmung)

### **3.4 Evaluierung verschiedener Methoden zur Überprüfung der Betäubung in Betrieb 1**

Die Untersuchungen gliedern sich in die Untersuchungen U1-U4, die am gleichen Betrieb (Betrieb 1) unter gleichen Bedingungen des Zutriebs und gleichem Arbeitsablauf (Schlachtzahlen) durchgeführt wurden. Die Untersuchung U1 wurde an einem Schlachttag, U2 und U3 an einem weiteren, und die Untersuchung U4 wurde an einem dritten Schlachttag (mit einem anderen Betäubungsgenerator) mit dem gleichen Personal bei der Betäubung und am Stechplatz durchgeführt. Eine Hilfsperson notierte an allen Untersuchungstagen die Befunde auf Zuruf.

#### **3.4.1 Rahmenbedingungen der Betäubung**

Die Tiere wurden über einen breiten Treibgang bis zu einem Zutriebsgang mit zwei Tierbreiten getrieben, aus dem sie nach einer Kurve stufenförmig in einen ca. 10m langen 15° ansteigenden Einzeltreibgang vor dem V-Kurzrestrainer vereinzelt wurden. Der Beton-Einzeltreibgang war durch ein Rohr nach oben begrenzt, an dem im Gangverlauf drei Rücklaufsperrern angebracht waren. Durch eine Lichtband hinter dem Restraimer wurde der Treibgang in Treibrichtung heller gestaltet. Der Einsatz elektrischer Treibhilfen (E-Treiber) wurde vorwiegend an der Vereinzlung nach der Kurve und vor allem am Restrainereintrieb beobachtet.

Im Restraimer wurden die Schweine bis zum Betäuber vorgefahren, der dann die Herzelektrode zwischen Restraimer und linkem Thorax handbreit unter und hinter der Schulter plazierte. Die einseitig pneumatisch angedrückte Elektrodengabel wurde beiderseits am Ohrgrund angesetzt und ausgelöst, während durch zwei Düsen an der Betäubungsgabel Wasser in Richtung der Elektrodenkontaktfläche gespritzt wurde. Nach Stromflußende öffnete sich die Betäubungsgabel automatisch, und der Betäuber fuhr das betäubte Tier mittels des Restrainers vor, so daß dieses auf den Entblutetisch ausgeworfen wurde, und durch den Stecher mit einem Messer gestochen werden konnte. Am Ende des Entblutebandes (rd.120s nach dem Betäuben) wurde der Tierkörper an einer Hintergliedmaße angeschlungen und verblieb weitere 180s im Hängen, bevor es in die Brühanlage gelangte.

### **3.4.2 Parameter der Betäubung in den Untersuchungen U1-U3**

Hirn-Herz-Durchströmung in zwei aufeinanderfolgenden Phasen mit AC\_Sinus\_50Hz.  
Schlachtgeschwindigkeit : 280 Schweine/Stunde

Kopf- resp. Hirndurchströmung: Ohrgrund-Ohrgrund (pneumatische Gabelelektrode, mit gezahnten Rechteckelektroden)

Stromstärke: 1,35-1,45A (235V mit Stromstärkebegrenzung)

Dauer: 4,7s

Herzdurchströmung: Thorax links hinter/unterhalb des Buggelenks

Stromstärke: 0,4-0,9A (95V mit Strombegrenzung)

Dauer: 2s

Die Zeit zwischen Betäubungsbeginn und Stechen, die sog. Stun-stick-time, betrug 13s bis 15s, d.h. rund 8s verstrichen nach Durchströmungsende beim Auswurf aus dem Restrainer, Ausrichten des Tieres durch den Stecher und dem Stechen.

### **3.4.3 Untersuchung U1: Stromverlauf, Videoaufzeichnung und Reaktionen während der Entblutung**

Bei insgesamt 243 Tieren wurde die Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe unmittelbar nach dem Auswurf aus dem Restrainer vor dem Stechen (ca. 7-9s nach Betäubungsbeginn) überprüft. Vier Tiere reagierten positiv. Drei dieser Tiere zeigten gerichtete Augenbewegungen und regelmäßige Atembewegungen, und alle vier wurden mit der Handzange nachbetäubt.

Die Stromverläufe von insgesamt 490 Schweinebetäubungen wurden mit EDV aufgezeichnet und analysiert. Hiervon wurden 92 Betäubungen (18,7%) als falsch eingestuft („Fehlbetäubungen“ im Sinne des Auswertungsprogrammes: 1,3 Amp in der ersten Sekunde nicht erreicht oder diese Stromstärke nicht mindestens drei Sekunden gehalten). Davon waren insgesamt drei „Doppelbetäubungen“ (0,6%).

Die Ergebnisse der EDV-Auswertung von 490 Betäubungsvorgängen sind in Abb. 9 gegen die Zeitachse aufgetragen und lassen Rückschlüsse auf die Häufigkeitsverteilung von „Fehlbetäubungen“ (im Sinne der EDV) im Verlauf des Schlachttages zu. Eine leichte Zunahme des Anteils der Fehlbetäubungen (schwarze Balkenanteile) ist zwischen 10:50 und 11:10 Uhr sowie zwischen 11:35 und 12:00 Uhr festzustellen. Zwischen 11:35 und 12:10 Uhr schwankte die Gesamtzahl der Betäubungsvorgänge je Fünfminuten-Intervall stark ( $\pm 10$ ).

Die EDV-Überwachung von 120 Betäubungsvorgängen, bei denen gleichzeitig der Elektrodenansatz mittels Video aufgezeichnet und Reaktionsprüfungen durchgeführt wurden, ergab elf „falsche“ Betäubungen im Sinne des Auswertungsprogrammes (9,2%), darunter zwei „Doppelbetäubungen“ (1,7%), zwei (1,7%) Betäubungsvorgänge, bei denen 1,3 A nicht innerhalb 1s erreicht wurden, und sieben (5,8%), die 1,3A gar nicht erreichten. 109 Betäubungen wurden als „richtig“ betäubt eingestuft (91%).

Die Kopfelektrodenpositionierung (Videoaufzeichnung) wurde unterschieden in:

- “richtig“: symmetrisch beiderseits direkt hinter dem äußeren Gehörgang oberhalb des Kiefergelenkes ab Beginn der Durchströmung (n=61 (50,8%)).
- “falsch“: auf einem Ohr oder zu weit hinten am Nacken (n=12 (10,0%)).
- “ungenau“: asymmetrisch oder im Verlauf der Betäubung durch Verschieben korrigierter Ansatz (n=44 (36,7%)).
- “nicht beurteilt“: aus Kamerasicht nicht sicher zu bestimmen (n=3 (2,5%)).

Nach keinem der Betäubungsvorgänge wurden Lautäußerungen (Video), regelmäßige Atmung oder gerichtete Augenbewegung (auf der Liegendentblutung) registriert.

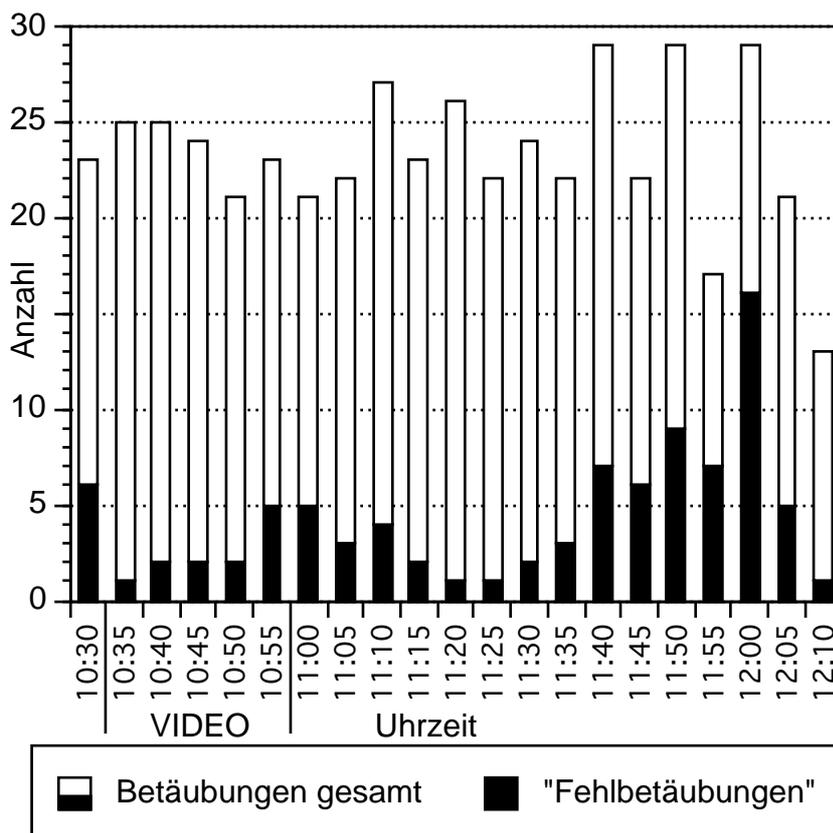


Abb. 9: Anzahl der Betäubungen und Anteil der „Fehlbetäubungen“ im Sinne der EDV-Auswertung im Verlauf des Schlachttages bei insgesamt 490 Tieren. Zwischen 10:30 und 11:00 Uhr wurde die Videoaufzeichnung während der Untersuchung U1 vorgenommen.

### 3.4.3.1 EDV-Auswertung in Bezug auf Videoaufzeichnung und Reaktionsprüfungen (Tab. 8)

Bezüglich der „richtigen“ Betäubungen im Sinne des Auswertungsprogrammes wurde ein „falscher“ Kopfelektrodenansatz bei sieben Tieren festgestellt, bei 41 Schweinen war der Ansatz „ungenau“ und 59 Elektrodengabelansätze wurden als „richtig“ eingestuft. In zwei Fällen war der Ansatz „nicht auswertbar“ (Tab.8).

Die Auswertung der Videobänder (Abb. 9 (s.S. 77)) ergab für die laut EDV „falschen“ Betäubungen (n=11) fünf „falsche“ (incl. der zwei „Doppelbetäubungen“), dreimal „ungenau“ und einmal „nicht auswertbare“ Elektrodenansätze, während bei zwei Tieren die Elektrodengabel „richtig“ plaziert wurde.

**Einstufung der Durchführung der Betäubung nach visuell erfaßtem Kopfelektrodenansatz und die dabei gemessene mittlere (MW-Kopf) und maximale (Max-Kopf) Stromstärke**

(N=120)		EDV-Auswertung				MW-Kopf	Max-Kopf
		Richtig		Falsch			
Video-Auswertung		n (% v. N)	109 (91%)	11 (9%)		1,36A ±0,22 (0,5-2,23)	1,45A ±0,37 (1,01-4,72)
	richtig	61 (51%)	59 49%	2* 2%		1,35A ±0,19 (0,5-3,0)	1,41A ±0,09 (1,06-1,73)
	nicht beurteilt	3 (3%)	2 —	1 —		—	—
	ungenau	44 (37%)	41 34%	3** 3%		1,37A ±0,25 (0,5-2,23)	1,49A ±0,51 (1,01-4,72)
	falsch	12 (10%)	7 6%	5*** 4%		1,39A ±0,31 (1,14-2,23)	1,53A ±0,67 (1,16-3,44)
	ungenau & falsch	56 (47%)	48 40%	8 7%		1,38A ±0,26 (0,5-2,23)	1,50A ±0,53 (1,01-4,72)

Tab. 8: Aufstellung der Ergebnisse der Videoauswertung der Kopfelektrodenansätze und der korrespondierenden EDV-Aufzeichnung der Betäubungsströme (N=120), sowie der mittleren Stromstärke (MW-Kopf) und der Stromstärkemaxima (Max-Kopf) jeweils MW ±SD (Min-Max). (\* zweimal 1,3A nicht erreicht; \*\* zweimal Anstieg länger als 1s, einmal 1,3A nicht erreicht; \*\*\* zweimal abgebrochen u. Doppelbetäubung, dreimal 1,3A nicht erreicht).

### 3.4.3.2 Reaktionsprüfungen in Bezug auf die EDV- und Videoauswertung

Nach „richtigem“ Elektrodenansatz (N=61(51%)) waren bei 14 Schweinen Reaktionen auf das Rüsselscheibentrauma feststellbar, drei dieser Tiere wiesen gleichzeitig eine Reaktion am Auge auf. Auffallende Exzitationen (Video) 60-65s nach Betäubungsbeginn wurden bei 29 Tieren mit „richtigem“ Elektrodenansatz registriert.

Im Zusammenhang mit „ungenauem“ Kopfelektrodenansatz (N=44) wurde bei 20 Tieren eine Reaktion durch das Trauma an der Rüsselscheibe ausgelöst, zwei dieser Tiere wiesen gleichzeitig einen Cornealreflex auf. 23 Tiere zeigten nach „ungenauem“ Elektrodenansatz auffallende Exzitationen 60-65s nach Betäubungsbeginn.

Eine Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe konnte bei keinem der 12 Tiere mit „falschem“ Elektrodenansatz (Videoauswertung) festgestellt werden, ebenso fehlte der Corneal- oder Lidreflex bei diesen Tieren.

Bei keinem der untersuchten 120 Tiere wurden Lautäußerungen, regelmäßige Atmung oder gerichtete Augenbewegung nach der Durchströmung beobachtet. Insgesamt erfolgte eine Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe 40-45s nach Betäubungsbeginn (rd. 30s nach dem Entblutestich) bei 34 Schweinen (28%), und fünf (4%) der 120 Tiere zeigten einen Cornealreflex, bei vier dieser Schweine fiel der Cornealreflex mit der Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe zusammen (Tab. 9). 31 der 34 Tiere mit einer Reaktion an der Rüsselscheibe (RS positiv) waren laut EDV-Auswertung „richtig“ betäubt, nur bei drei Tieren war der Stromstärkeverlauf nicht korrekt. Bei 20 der 34 auf ein Trauma an der Rüsselscheibe reagierenden Schweine (RS positiv) wurde bei der Videoauswertung ein „ungenauer“ Kopfelektrodenansatz festgestellt, zwei der Tiere wiesen gleichzeitig einen Cornealreflex auf. Von 58 Schweinen (48%) mit Exzitationen wiesen 20 Tiere eine Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe auf, und drei zeigten einen Cornealreflex.

Reaktionen nach der Betäubung		RS pos. (40-45s)	CR pos. (40-45s)	CR & RS pos.	EX (60-65s)	EX & RS pos.
(N=120)	n (%)	34 (28%)	5 (4%)	4 (3%)	58 (48%)	20 (17%)

Tab 9: Ergebnis der Untersuchung auf Reaktionen nach der Betäubung (N=120)

(RS pos.= Reaktion an der Rüsselscheibe; EX= auffallende Exzitationen (Videoauswertung); CR pos.= vorhandener Corneal- oder Lidreflex; CR&RS bzw. EX&RS= gleichzeitiges Vorliegen der jeweiligen Reaktionen; in Klammern jeweils der Zeitpunkt nach Betäubungsbeginn)

### 3.4.3.3 Ergebnis der statistischen Auswertung der erhobenen Daten

Für die einzelnen Betäubungsvorgänge (N=120) wurden die Stromstärkeverläufe analysiert und die Anstiegsdauer, die Strommenge während des Anstiegs, die maximale Stromstärke, die Dauer der Durchströmung mit mind. 1,3A, die Strommenge bei der Kopfdurchströmung, die maximale Stromstärke bei der Herzdurchströmung, die Strommenge bei der Herzdurchströmung und die Gesamtstrommenge des Betäubungsvorganges ermittelt. Der statistische Vergleich (T-Test) von Betäubungsvorgängen, bei denen während der Entblutung der Cornealreflex, die Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe, eine Kombination der beiden oder Exzitationen 60-65s nach Betäubung festgestellt oder nicht festgestellt wurden, erbrachte keine signifikanten Unterschiede bezüglich der oben genannten Kennzahlen der Stromstärkeverläufe.

### **3.4.4 Untersuchung U2: Reaktionen an der Rüsselscheibe und Auge (Tab. 10)**

Von 100 Tieren wiesen 21 (21%) Reaktionen auf ein Trauma an der Rüsselscheibe 40-45s nach Betäubungsbeginn auf. Bei vier Schweinen (4%) wurde zum gleichen Zeitpunkt kein bewegungsloses Auge mit Pupillendilatation festgestellt, und ein Schwein (1%) zeigte einen Cornealreflex. Zwei der vier Tiere mit Bulbusbewegungen und verengter Pupille reagierten ebenfalls auf den Test an der Rüsselscheibe.

Reaktionen 40-45s nach Betäubungsbeginn		RS pos.	CR pos.	CR & RS pos.	WA neg.	WA neg. & RS pos.
(N=100)	n (%)	21 (21%)	1 (1%)	0 (0%)	4 (4%)	2 (2%)

*Tab.10: Untersuchung verschiedener Reaktionen während der Entblutung (N=100)  
(RS pos.= Reaktion an der Rüsselscheibe; WA neg.= keine Pupillendilatation/bewegungsloses Auge; CR pos.= vorhandener Corneal- oder Lidreflex; CR&RS bzw. WA&RS= gleichzeitiges Vorliegen der jeweiligen Reaktionen)*

### **3.4.5 Untersuchung U3: Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe zu verschiedenen Zeitpunkten nach Betäubungsbeginn (Tab. 11)**

22 Schweine aus einer Stichprobe von 100 Tieren zeigten 40-45s nach Betäubungsbeginn eine Reaktion an der Rüsselscheibe (22%). Eine Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe 70-75s nach Betäubungsbeginn war bei 14 Tieren auslösbar (14%), vier dieser Tiere (4%) hatten vorher keine Reaktionen gezeigt. 10 Tiere (10%) reagierten sowohl nach 40-45s als auch nach 70-75s auf das Trauma.

Reaktionen zu unterschiedlichen Zeiten nach Betäubungsbeginn		RS pos. (40-45s)	RS pos. (70-75s)	RS pos. zu beiden Zeiten
(N=100)	n (%)	22 (22%)	14 (14%)	10 (10%)

*Tab. 11: Untersuchung der Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Entblutung (N=100). (RS pos.= Reaktion an der Rüsselscheibe; in Klammern: Zeitpunkt der Überprüfung)*

### **3.4.6 Untersuchung U4: Reaktion auf Traumata an der Rüsselscheibe zu verschiedenen Zeitpunkten nach Beginn der Betäubung mit 300Hz Rechteck-Wechselstrom**

Es bestand die Möglichkeit einen Vergleich der Betäubungswirkung bei veränderten technischen Parametern resp. Betäubungseinstellungen bei ansonsten gleichen Betäubungsbedingungen im Rahmen der Routineschlachtung durchzuführen.

#### **3.4.6.1 Parameter der Betäubung bei Untersuchung U4**

Stromform: AC\_Rechteck mit 300Hz Frequenz

Schlachtgeschwindigkeit: 280 Tiere/Stunde

Kopfdurchströmung: Ohrgrund-Ohrgrund

Stromstärke: 1,4A (Konstantstrom)

Dauer: 5s

Herzdurchströmung: Thorax links hinter/unterhalb des Buggelenks

Stromstärke: 1,0-1,1A

Dauer: 2s

Stun-Stick-Time: 13-15s

### 3.4.6.2 Reaktionen während der Entblutung (Tab. 12)

Von den untersuchten 72 Tieren reagierten 32 Schweine 40-45s nach Betäubungsbeginn an der Rüsselscheibe (44%), 17 Tiere reagierten an der Untersuchungsposition 70-75s nach Betäubungsbeginn ebenfalls positiv (24%).

Reaktionen zu unterschiedlichen Zeiten nach Betäubungsbeginn		RS pos. (40-45s)	RS pos. (70-75s)	RS pos. zu beiden Zeiten
(N=72)	n (%)	32 (44,4%)	17 (23,6%)	17 (23,6%)

Tab. 12: Ergebnisse der Reaktionsprüfung zu verschiedenen Zeitpunkten nach Betäubungsbeginn mit höherfrequentem Rechteck-Wechselstrom (300 Hz) und Hirn-Herz-Durchströmung (N=72). (RS pos.=Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe; in Klammern: Zeitpunkt der Überprüfung)

Auf dem Entbluteband fielen die Tiere durch starke Exzitationen nach der Durchströmung und dem Auswurf auf die Liegendentblutung auf. Der Schlachter, der den Entblutestich durchführte, wurde hierdurch in seiner Arbeit behindert und zwei Schweine fielen infolge der Krämpfe vom Entbluteband. Der Betrieb stellte die Arbeit mit der 300Hz-Stromfrequenz-Betäubungsanlage ein, und benutzte wieder die normalerweise eingesetzte 50Hz-Betäubungsanlage, wodurch sich die Situation am Entblutetisch wieder normalisierte.

## **3.5 Ergebnisse der Untersuchungen an elf Schlachtbetrieben**

### **3.5.1 Betrieb 2**

#### **3.5.1.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Tiere wurden in Gruppen von 4-5 Schweinen durch ein Tor aus einem Vorraum, in den sie vorher aus dem Stall getrieben wurden, in die längliche Betäubungsbucht mit rd. 6m<sup>2</sup> Fläche verbracht, an deren Kopfende sich der Elevator befand.

Dieser Bereich war heller ausgeleuchtet, so daß sich die Tiere häufig freiwillig in Elevatornähe begaben. Der Betäuber setzte die Betäubungszange beiderseits am Ohrgrund oder in der Position Schläfe-Ohrgrund an, wenn die Schweine sich längs an der Buchtenwand unter dem Elevator befanden, und hielt die Schweine mit der Zange in "sitzender" Position bis kurz vor Durchströmungsende fest. Dann kippte er das Tier auf die Seite, damit es gegen Ende der Durchströmung angeschlungen und direkt zum Ende der Durchströmung hochgezogen werden konnte. Unmittelbar anschließend wurden die Tiere mit dem Messer gestochen und im Hängen entblutet.

#### **3.5.1.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 73 Tieren (N=73) 45-50s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 19 (26%) Tiere (RS positiv), während 54 (74%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten.

<b>Tabelle 13: Betrieb 2</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	60
<b>Fixierung</b>	Keine: Bucht mit 4-5 Tieren
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	FUHRMANN-Gerät mit Steuerung über Strommenge (Coulomb)
<b>Stromform</b>	Sinus 425 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Handzange (Fa. FUHRMANN)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	Sehr bemüht um exakte Durchführung der Betäubung
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Ohrgrund-Schläfe
<b>Stromstärke</b>	18 Coulomb (entspricht ca.1,6A je Sekunde)
<b>Spannung (V)</b>	350
<b>Dauer (s)</b>	9-10
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	19-21
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	19 Schweine (26%) von N=73

## **3.5.2 Betrieb 3**

### **3.5.2.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Schweine wurden in Gruppen von 7-9 Schweinen erst in eine Vorbucht und dann gemeinsam in die Betäubungsbucht mit ca. 4m<sup>2</sup> Grundfläche getrieben. Der Betäuber versuchte, die Tiere in die Nähe des Elevators zu leiten und dort mit der Handzange am Kopf im Bereich zwischen Ohr und Auge zu greifen. Die Handzange wurde dann durch einen Federzug zwischen den beiden Griffschenkeln am Kopf des Tieres festgeklemmt<sup>4</sup>, während der Betäuber eine Hintergliedmaße in der Seitenlage anschläng und am Elevator einhängte, der das Tier dann langsam über die Buchtenwand hinweg auf das Band zog. Von dort mußte das Tier von dem Stecher ca. 1m bis über das Entblutebecken vorgezogen werden und konnte dann gestochen werden.

Während der Betäubung sprangen teilweise andere Tiere auf oder über das gerade betäubte Schwein, so daß die Zange erneut angesetzt werden mußte. Mehrfach entwichen Schweine über die abgesenkte Buchtenwand unter dem Elevator, fielen in das Entblutebecken und mußten herausgeholt und zurück in die Betäubungsbucht getrieben werden. Dadurch kam es zu Verzögerungen bei der Entblutung.

### **3.5.2.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 90 Tieren (N=90) 50-55s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 47 (52,2%) Tiere (RS positiv), während 43 (47,8%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 12 (13,3%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)) und bei 11 (12,2%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 42 (46,7%) Schweine reaktionslos. Mehrere Tiere zeigten regelmäßige Atmung und gerichtete Augenbewegungen am Entbluteband.

---

<sup>4</sup> Die angesprochene Manipulation an der Handbetäubungszange steht im Widerspruch zu den geltenden Arbeitsschutzbestimmungen.

<b>Tabelle 14: Betrieb 3</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	150
<b>Fixierung</b>	Keine: Bucht mit 7-9 Tieren
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	SCHERMER-Gerät mit Zeitabschaltung
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Betäubungszange (Fa. SCHERMER) mit starkem Federzug zwischen den Griffschenkeln
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	Durch den Federzug blieb der Kontakt erhalten, wenn die Tiere umfielen.
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,2-1,4
<b>Spannung (V)</b>	250
<b>Dauer (s)</b>	8
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	32-40
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	47 Schweine (52,2%) von N=90

### **3.5.3 Betrieb 4**

#### **3.5.3.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Tiere wurden in Gruppen von 6-7 Schweinen in eine Vorbucht getrieben und dann durch eine stufenförmige Vereinzelnung in einem beiderseits geschlossenen Einzeltreiebgang mit zwei Tierlängen Länge weitergeleitet. Boden- und Wandverhältnisse im Zutrieb wechselten (spiegelnde Seitenwände und Wasser am Boden), und eine in Treibrichtung zunehmende Beleuchtung fehlte. Am Eintrieb in die 1,8m lange Hebefalle wurde der E-Treiber eingesetzt.

Wenn das Tier die Falle betreten hatte, wurde die Falle angehoben und das Tier hierdurch fixiert. Dann versuchte der Betäuber, die beidseitig pneumatische Betäubungsgabel anzusetzen. Die Metall-Halbschalen im Kopfbereich der Falle erschwerten einen exakten Ansatz der Elektroden, so daß ca. die Hälfte der Tiere nach- bzw. doppelt durchströmt wurden.

Nach Ende der Durchströmung öffnete sich automatisch die schlachtraumseitige Wand der Hebefalle, und das Tier fiel auf einen Auffangrost. Ein Angestellter schlang eine Hintergliedmaße an, hängte die Kette am Elevator ein und stach das Tier, nachdem es ans Band hochgezogen wurde. Beim Anschlingen wurde er teilweise durch sehr starke Krampfaktivität behindert, so daß es vorkam, daß das zweite Tier schon betäubt aus der Falle ausgeworfen wurde, bevor das erste hochgezogen war. Dadurch kam es auch zu Verzögerungen beim Stechen.

#### **3.5.3.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 62 Tieren (N=62) 38-45s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 37 (59,7%) Tiere (RS positiv), während 25 (40,3%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten.

<b>Tabelle 15: Betrieb 4</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	150
<b>Fixierung</b>	Einzeltierfalle, Fixierung durch Anheben
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	SCHERMER-Gerät mit Zeitabschaltung
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Handzange (Fa. SCHERMER)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	Falle erschwert exakte Elektrodenplatzierung
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Auge, Schläfe-Schläfe und Fehlplatzierungen
<b>Stromstärke (A)</b>	1,2-1,4
<b>Spannung (V)</b>	250
<b>Dauer (s)</b>	8
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	30-40
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer, Hohlmesser
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	37 Schweine (59,7%) von N=62

## **3.5.5 Betrieb 5**

### **3.5.5.1 Begleitumstände der Betäubung**

Der Zutrieb erfolgte über einen Zutriebsgang, von dem aus die Tiere stufenförmig in einen halbkreisförmig verlaufenden, beidseitig geschlossenen Einzeltreibgang verteilt wurden. Boden- und Wandverhältnisse im Zutrieb wechselten, und eine in Treibrichtung zunehmende Beleuchtung fehlte. Im Einzeltreibgang und am Eintrieb in den 2,4m langen Kurzrestrainer wurden E-Treiber eingesetzt.

Im Restrainer wurden die Tiere mit einem Ansatz beiderseits am Ohrgrund oder Auge-Ohrgrund mit einer einseitig pneumatischen Betäubungsgabel erfaßt und betäubt. Nach dem Auswurf auf ein Auffanggitter wurden die Schweine an einer Hintergliedmaße angeschlungen, am Elevator angehängt und nach dem Hochziehen mit einem Hohlmesser gestochen.

### **3.5.5.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 50 Tieren (N=50) 50-55s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 28 (56%) Tiere (RS positiv), während 22 (44%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten.

Auffallend waren ausgeprägte tonisch-klonische Krämpfe auf dem Auswurfgitter und am Band, die zur Behinderung des Anschlingens und des Stechens führten. Ein Tier fiel nach starken Exzitationen vom Band.

<b>Tabelle 16: Betrieb 5</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	280
<b>Fixierung</b>	V-Restrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	SCHERMER-Gerät mit Zeitabschaltung
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Einseitig pneumatische Gabel (Fa. SONNENBERG)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck m. Zacken
<b>Besonderheiten</b>	---
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Auge-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,3-2,7
<b>Spannung (V)</b>	400
<b>Dauer (s)</b>	9,5
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	23-40, selten unter 35s
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	28 Schweine (56%) von N=50

## **3.5.5 Betrieb 6**

### **3.5.5.1 Begleitumstände der Betäubung**

Aus dem Wartestall wurden die Schweine in zwei Vorbuchten getrieben, aus denen alternierend Schweine durch eine trichterförmige Verengung in den 6m langen Beton-einzeltreibgang eingetrieben wurden, der durch eine Öffnung in der Wand zu dem Kurzrestrainer im Entbluterraum führte. Viele Tiere verkeilten sich in dem trichterförmigen Eintriebsbereich und mußten durch die Treiber voneinander getrennt werden. Der Zutrieb stockte außerdem am Übergang zwischen dem dunklen Treibgangteil im Wartestall und dem durch Halogenstrahler angestrahlten Treibgangteil hinter der Maueröffnung. Zwei Tierlängen vor dem Restrainer ritten verschiedentlich Tiere in dem Treibgang, der keine obere Begrenzung besaß, auf und verkeilten sich im Gang. Die Treiber konnten die Tiere nur mit dem E-Treiber voneinander lösen. Der E-Treiber wurde auch zum Eintrieb in den Restrainer eingesetzt.

Im Restrainer plazierte der Betäuber die starre Elektrodengabel beiderseits am Ohrgrund oder in Position Auge-Ohr und schob die Herzelektrode zwischen Thorax und linke Restrainerwand in eine Position handbreit unterhalb des Buggelenks. Bei vier schweren Tieren wurde der Ansatz Ohrgrund-Ohrgrund nicht erreicht, weil die Gabel nicht tief genug hinuntergedrückt werden konnte, und die Tiere wurden mit einem Ansatz Nacken-Nacken durchströmt. Der Restrainer wurde nach Durchströmungsende vorgefahren, das Tier auf das Entblutband befördert und mit einem Messer gestochen.

### **3.5.5.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 68 Tieren (N=68) 40-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 15 (22,1%) Tiere (RS positiv), während 53 (77,9%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten.

<b>Tabelle 17: Betrieb 6</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	250
<b>Fixierung</b>	V-Kurzrestrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	GEDE-Gerät mit Zeitautomatik
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Starre Elektrodengabel (Fa. SCHERMER) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (4,5cm)
<b>Besonderheiten</b>	---
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Nacken-Ohrgrund, Nacken-Nacken
<b>Stromstärke (A)</b>	1,8
<b>Spannung (V)</b>	250
<b>Dauer (s)</b>	5
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer
<b>Stromstärke (A)</b>	0,8
<b>Spannung (V)</b>	110
<b>Dauer (s)</b>	4
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	liegend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	13-15
<b>Entblute-Gerät</b>	Hohlmesser
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	15 Schweine (22,1%) von N=68

## **3.5.6 Betrieb 7**

### **3.5.6.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Tiere wurden in Gruppen von 8-9 Tieren über einen geraden Zutriebsgang an die stufenförmige Vereinzlung herangetrieben, die in einen 5m langen, leicht ansteigenden Einzeltreibgang mit Holzwänden überging, der hinter den Tieren durch ein Falltor geschlossen wurde.

Der Boden war durchgehend aus Beton gestaltet, und auf Seiten des Restrainers wurde der Treibgang durch ein Lichtband in der Außenwand heller. Die Tiere betraten den Einzeltreibgang überwiegend freiwillig, am Eintrieb des Restrainers wurde bei einigen Schweinen ein Elektrotreiber gezielt am Hinterviertel eingesetzt.

Der Betäuber fuhr das Schwein mit dem Restraîner über eine Fußschaltung in die Betäubungsposition und plazierte die Herzelektrode an der rechten Thoraxwand. Dann wurde die starre Elektrodengabel von hinten-oben für den Ansatz Ohrgrund-Ohrgrund im Nacken heruntergeschoben. Bei einigen Tieren mit ausgeprägter Nackenmuskulatur konnte der geplante Ansatz nicht erreicht werden, weil sich die Gabel nicht weit genug herunterschieben ließ.

An der Erschlaffung des Tieres erkannte der Betäuber das Ende des Stromflusses. Er fuhr den Restraîner vor, so daß das Tier auf den Entblutetisch ausgeworfen wurde und mit dem Messer gestochen werden konnte.

### **3.5.6.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 51 Tieren (N=51) 40-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 12 (23,5%) Tiere (RS positiv), während 39 (76,5%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 12 (23,5%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)), und bei 5 (9,8%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 32 (62,7%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 18: Betrieb 7</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	170
<b>Fixierung</b>	V- Kurzrestrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	GEDE-Gerät mit Zeitautomatik
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Starre Elektrodengabel (Fa. SCHERMER) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (5cm)
<b>Besonderheiten</b>	---
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Nacken-Nacken
<b>Stromstärke (A)</b>	1,3-1,6
<b>Spannung (V)</b>	230
<b>Dauer (s)</b>	3-4
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer
<b>Stromstärke (A)</b>	0,2-0,9
<b>Spannung (V)</b>	70
<b>Dauer (s)</b>	3
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	liegend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	11-14
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	12 Schweine (23,5%) von N=51

## **3.5.7 Betrieb 8**

### **3.5.7.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Schweine wurden in Gruppen von 5-6 Schweinen über einen breiten Treibgang in eine Betäubungsbucht mit ca. 4m<sup>2</sup> Grundfläche getrieben. Der Betäuber versuchte, die Tiere in die Nähe des Elevators zu leiten und dort mit der Handzange am Kopf im Bereich zwischen Ohr und Auge zu greifen. Ein zweiter Angestellter schlang eine Hintergliedmaße kurz vor Durchströmungsende an und hängte sie am Elevator ein.

Wenn das Tier bei Einsetzen des Stromflusses umfiel, setzte der Betäuber die Zange auf eine Position zwischen Hals und Stirn bzw. Hals und Nacken um. Teilweise sprangen andere Tiere auf das betäubte Schwein, sodaß die Zange erneut angesetzt werden mußte. Ein Aufschreien nur kurz durchströmter Schweine beim erneuten Ansetzen der Zange wurde mehrfach beobachtet.

### **3.5.7.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 50 Tieren (N=50) 40s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 13 (26%) Tiere (RS positiv), während 37 (74%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten.

<b>Tabelle 19: Betrieb 8</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	120
<b>Fixierung</b>	Keine: Bucht mit 5-6 Tieren
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	FUHRMANN-Gerät mit Steuerung über Strommenge (Coulomb)
<b>Stromform</b>	Rechteck 425 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Handzange (Fa. FUHRMANN)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	Häufiges Umsetzen nach 1-2s
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Auge-Ohrgrund
<b>Stromstärke</b>	15 Coulomb (entspricht ca. 2,1 A je Sekunde)
<b>Spannung (V)</b>	240
<b>Dauer (s)</b>	6-8
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	Stechen beim Hochziehen, weiteres Entbluten hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	15-17
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	13 Schweine (26%) von N=50

## **3.5.8 Betrieb 9**

### **3.5.8.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Schweine wurden im Stall in eine Vorbucht getrieben und von dort aus stufenförmig in einen Beton-Einzeltreibgang ohne Höhenbegrenzung vereinzelt, der durch einen Vorraum (ehemals Betäubungsraum) verlief und nach einer leichten Kurve in den Schlachtraum mit einem V-förmigen Kurzrestrainer mündete. Stall und Vorraum waren schwach beleuchtet, und durch die helle Ausleuchtung des Schlachtraumes mit Leuchtstoffröhren wurde der Treibgang in Treibrichtung zunehmend heller. Der E-Treiber wurde bei einigen Tieren gezielt unmittelbar am Eintrieb in den Restraîner eingesetzt, der direkt an den Übergang zum Schlachtraum anschloß.

Hatte das Tier den Restraîner betreten, wurde es vom Betäuber vorgefahren und mit der einseitig pneumatischen Elektrodengabel zwischen Auge und Ohrgrund erfaßt, wobei der Stromfluß automatisch einsetzte. Nach Ende des Stromflusses wurde das Tier soweit vorgefahren, daß es auf ein Auswurfgatter fiel, auf dem es an einer Hintergliedmaße angeschlungen und durch einen Elevator aufs Band gezogen wurde. Am Band wurde es durch den Stecher über einem Entblutebecken mit einem Messer gestochen.

### **3.5.8.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 50 Tieren (N=50) 50-55s nach Beginn der Kopfdurchströmung reagierten 25 (50%) Tiere (RS positiv), während 25 (50%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 6 (12%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)), und bei 5 (10%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 24 (48%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 20: Betrieb 9</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	150
<b>Fixierung</b>	V-Kurzrestrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Kopfdurchströmung
<b>Betäubungsgerät</b>	SCHERMER-Gerät mit Zeitabschaltung und konstanter Stromstärke
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz (Stromstärkenachregelung)
<b>Elektrodenhalter</b>	Gabel mit einseitiger Pneumatik (Fa. SONNENBERG)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	Analoge Ampere und Voltanzeige
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,4-1,6
<b>Spannung (V)</b>	max. 320, nachregelnd
<b>Dauer (s)</b>	10
<b>Durchströmung Herz</b>	---
<b>Stromstärke (A)</b>	---
<b>Spannung (V)</b>	---
<b>Dauer (s)</b>	---
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	35-45
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	25 Schweine (50%) von N=50

## **3.5.9 Betrieb 10**

### **3.5.9.1 Begleitumstände der Betäubung**

Der Zutrieb zur Betäubungsfalle geschah über eine Vorbucht, von der aus die Tiere in einen Einzeltreibgang eingetrieben wurden. Die gewählte Gruppengröße von 8-12 Tieren führte zu Eintriebsproblemen an der trichterförmigen Vereinzlung. Der ca. 8m lange, seitlich geschlossene Einzeltreibgang war nach oben durch Rohre begrenzt. Boden und Wandverhältnisse wechselten im Zutrieb. Der Restrainer war gegenüber den vorangehenden Bereichen heller erleuchtet. Sowohl an der Vereinzlung als auch vor dem Restrainereintrieb wurden regelmäßig E-Treiber eingesetzt.

Ein zweites Tier wurde in den Kurzrestrainer mit 2,40m Länge eingetrieben, während das erste nach Ansetzen der einseitig pneumatischen Gabel beiderseits am Ohrgrund oder Auge-Ohr und Platzieren der Herzelektrode betäubt wurde. Der Restrainer wurde dann vorgefahren, das betäubte Schwein auf den Entblutetisch ausgeworfen und mit einem Hohlmesser gestochen.

Die Auswertung einer Videoaufzeichnung ergab 5% (11 von 207) ungenaue/doppelte Kopfelektrodenansätze.

### **3.5.9.2 Untersuchung U1 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit einem Transformator; 300V\_7s Kopf-, 300V\_2,5s Herzdurchströmung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 260 Tieren (N=260) 40-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 26 (10%) Tiere (RS positiv), während 234 (90%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 12 (4,6%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)), und bei 10 (3,8%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 232 (89,2%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 21: Betrieb 10 (U1)</b>	Betrieb 10 (Untersuchung U1)
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	300
<b>Fixierung</b>	V-Kurzrestrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	Eigenbau mit <u>einem</u> Transformator (Umschaltung, Zeitautomatik)
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Einseitig pneumatische Gabel (Fa. SONNENBERG) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (4,5cm)
<b>Besonderheiten</b>	Stromauslösung anhand Druck (5bar) der Gabelpneumatik
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohrgrund, Ohrgrund-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,2-1,6
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	6
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer
<b>Stromstärke (A)</b>	2-2,5
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	2,5
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	liegend auf Entblutestich
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	16-20
<b>Entblute-Gerät</b>	Hohlmesser
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	26 Schweine (10%) von N=260

### **3.5.9.3 Untersuchung U2 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit zwei Transformatoren: 300V\_2s Kopf-, 220V\_4s Herzdurchströmung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 77 Tieren (N=77) 37-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 11 (14,3%) Tiere (RS positiv), während 66 (85,7%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 10 (13%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)) und bei 2 (2,6%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 58 (75,3%) Schweine reaktionslos.

Im weiteren Verlauf des Untersuchungstages kam es zu einem Fehler in der Stromsteuerung für die Herzdurchströmung mit der Folge, daß die Tiere aufgrund starker Exzitationen (ausgeprägte tonisch-klonische Krämpfe) während des Entblutens teilweise vom Entblutetisch fielen. Elf von zwölf in diesem Zeitraum untersuchten Tieren reagierten auf das Trauma an der Rüsselscheibe 45s nach Betäubungsbeginn positiv. Nachdem sich drei Tiere trotz der relativ kurzen Stun-Stick-Time und erheblichem Blutaustritt aus der Stichwunde nach Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung (30-40s nach Betäubungsbeginn) auf dem Entbluteband aufrichteten (70-75s nach Betäubungsbeginn) und Zeichen einer Umweltwahrnehmung (Herumschauen, Schreien) zeigten, wurde die Schlachtung bis zur Behebung des technischen Defektes ausgesetzt. Die EDV-gesteuerte Stromaufzeichnung zeigte für alle Tiere eine Kopfdurchströmung mit Anstieg in der ersten Sekunde auf Stromstärken über 1,2A, und die beobachtete Symptomatik tonisch-klonischer Krämpfe weist auf die Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) bei den Tieren hin. Trotz ausreichender Stromstärke kam es demnach bei fehlendem Kammerflimmern zur Erholung der Tiere von der Betäubung. Nachdem nämlich die Herzdurchströmung wieder technisch einwandfrei funktionierte, d.h. Kammerflimmern ordnungsgemäß ausgelöst wurde, wurde das Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung, gerichtete Augenbewegungen, Aufrichten oder Lautäußerungen auf dem Entbluteband nicht mehr festgestellt.

<b>Tabelle 22: Betrieb 10 (U2)</b>	Betrieb 10 (Untersuchung U2)
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	Eigenbau mit <u>zwei</u> Transformatoren (Zeitautomatik)
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Einseitig pneumatische Gabel (Fa. SONNENBERG) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (4,5cm)
<b>Besonderheiten</b>	Stromauslösung anhand Druck (5bar) der Gabelpneumatik
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohrgrund, Ohrgrund-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,2-1,6
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	3
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer
<b>Stromstärke (A)</b>	1-1,2
<b>Spannung (V)</b>	220
<b>Dauer (s)</b>	4
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	11 Schweine (14,3%) von N=77

#### **3.5.9.4 Untersuchung U3 in Betrieb 10: Reaktionen während der Entblutung Anlage mit zwei Transformatoren: 300V\_4s Kopf-, 220V\_3s Herzdurchströmung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 97 Tieren (N=97) 37-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 13 (13,4%) Tiere (RS positiv), während 84 (86,6%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 33 (34%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)) und bei 5 (5,2%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 56 (57,7%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 23: Betrieb 10 (U3)</b>	Betrieb 10 (Untersuchung <b>U3</b> )
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	Eigenbau mit <u>zwei</u> Transformatoren (Zeitautomatik)
<b>Stromform</b>	Sinus 50 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Einseitig pneumatische Gabel (Fa. SONNENBERG) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (4,5cm)
<b>Besonderheiten</b>	Stromauslösung anhand Druck (5bar) der Gabelpneumatik
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohrgrund, Ohrgrund-Ohrgrund
<b>Stromstärke (A)</b>	1,2-1,6
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	4
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer
<b>Stromstärke (A)</b>	1,9-2,2
<b>Spannung (V)</b>	220
<b>Dauer (s)</b>	3
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	13 Schweine (13,4%) von N=97

## **3.5.10 Betrieb 11**

### **3.5.10.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Schweine wurden von den Transportern direkt über die Rampe ebenerdig geradeaus in den kurzen (4m) Einzeltreibgang hineingetrieben. In den hölzernen Einzeltreibgang waren drei Querrohre in 15cm Höhe eingebaut, die bei den meisten Tieren ein Zurücklaufen verhinderten. Ein Rohr begrenzte den Treibgang nach oben, um Aufreiten zu verhindern, und ein weiteres in Längsrichtung in Treibgangmitte in 15cm Höhe am Boden angebrachtes Rohr verhinderte ein Absitzen im Gang. Durch eine hellere Beleuchtung im Bereich des Restrainers wurde ein Weitergehen in diese Richtung gefördert. Der E-Treiber wurde nur bei einem kleinen Teil der Tiere direkt am Eintrieb in den Restraîner eingesetzt.

Im Restraîner wurden die Schweine automatisch mit Wasser besprüht und vorgefahren. Der Betäuber plazierte die starre Gabelelektrode beiderseits hinter den Ohren und schob die Herzelektrode an der linken Brustwand in Position. Bei Erschlaffung der Tiere am Durchströmungsende rutschte das Tier durch Vorfahren des Restrainers über ein Rollenband auf den Entblutetisch und wurde mit einem Messer gestochen.

### **3.5.10.2 Reaktionen während der Entblutung**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 237 Tieren (N=237) 37-45s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Zwei Kopf- und eine Herzelektrode)) reagierten 11 (4,6%) Tiere (RS positiv), während 226 (95,4%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. Kein (0%) Schwein zeigte bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)).

Die Tiere lagen auf dem Entbluteband auffallend entspannt und bewegungslos. Direkt nach dem Auswurf war die oben liegende Hintergliedmaße leicht abgespreizt, senkte sich jedoch bei der Mehrzahl der Tiere bis zur Reaktionsprüfung auf die unten liegende. Der Angestellte, der das Anschlingen der Hintergliedmaßen am Ende des Entblutebandes vornahm, gab an, daß er kaum reflektorische Reaktionen bei seiner Tätigkeit gespürt habe.

<b>Tabelle 24: Betrieb 11</b>	
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	200
<b>Fixierung</b>	V-Kurzrestrainer
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Drei Elektroden)
<b>Betäubungsgerät</b>	Prototyp (Fa. JUNG)
<b>Stromform</b>	Rechteck, Frequenzmodulation
<b>Elektrodenhalter</b>	Starre Elektrodengabel (Fa. SCHERMER) und Herzelektrode (Fa. GEDE)
<b>Elektrodenform</b>	Kopfelektroden: Rechteck mit Zähnen Herzelektrode: Halbkugel (5cm)
<b>Besonderheiten</b>	Frequenzmodulation in den ersten 500ms !
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Ohrgrund-Ohrgrund, Auge-Ohrgrund Frequenz: 10 KHz -> 101 Hz in 0,5s
<b>Stromstärke (A)</b>	1,22±0,06
<b>Spannung (V)</b>	260
<b>Dauer (s)</b>	3,5
<b>Durchströmung Herz</b>	Thorax links, hinter Buggelenk, handbreit tiefer Frequenz: 10 KHz -> 82 Hz in 0,5s
<b>Stromstärke (A)</b>	0,59±0,08 (begrenzt auf 0,6)
<b>Spannung (V)</b>	230
<b>Dauer (s)</b>	4
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	liegend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	11-15
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	11 Schweine (4,6%) von N=237

## **3.5.11 Betrieb 12**

### **3.5.11.1 Begleitumstände der Betäubung**

Die Schweine wurden in kleinen Gruppen von 4-5 Tieren in eine Vorbucht gebracht, aus der 3-4 Schweine in die daneben liegende Betäubungsbucht umgetrieben wurden.

Der Betäuber ergriff das Schwein mit der Betäubungszange entweder an der Position Ohrgrund-Ohrgrund oder Schläfe-Ohrgrund für wenige Sekunden, ließ das Tier dann umfallen, spreizte die Zange und drückte sie auf Schläfe und seitliche Brustwand direkt hinter und handbreit unterhalb des Buggelenks.

Ein zweiter Angestellter schlang eine Hintergliedmaße an, und die Tiere wurden teilweise während des Hochziehens weiter durchströmt. Der Elevator zog die Tiere langsam auf das Band, und ein Schlachter zog die Tiere dann ca. 50cm bis über das Entblutebecken zu sich heran und stach sie dort mit einem Messer.

### **3.5.11.2 Untersuchung U1 in Betrieb 12: Reaktionen während der Entblutung FUHRMANN-Gerät 425 Hz Rechteckstrom**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 84 Tieren (N=84) 45-50s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Freihand), FUHRMANN-Gerät 425 Hz Rechteckstrom) reagierten 52 (61,9%) Tiere (RS positiv), während 32 (38,1%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 4 (4,8%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)), und bei 3 (3,6%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 31 (36,9%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 25: Betrieb 12 (U1)</b>	Betrieb 12 (Untersuchung U1)
<b><u>Rahmenbedingungen</u></b>	
<b>Stundenleistung</b>	100
<b>Fixierung</b>	Keine: Bucht mit 3-5 Tieren
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Freihand)
<b>Betäubungsgerät</b>	FUHRMANN-Gerät
<b>Stromform</b>	Rechteck 425 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Handzange (Fa. FUHRMANN)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	---
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohr, Ohr-Ohr
<b>Stromstärke (A)</b>	1,0-1,3
<b>Spannung (V)</b>	220
<b>Dauer (s)</b>	2-5
<b>Durchströmung Herz</b>	nach Umsetzen: Schläfe-Brustwand hinter Buggelenk
<b>Stromstärke (A)</b>	1,0-1,3
<b>Spannung (V)</b>	220V
<b>Dauer (s)</b>	3-8
<b><u>Entblutung</u></b>	
<b>Position d. Tieres</b>	hängend
<b>Stun-stick-Intervall (s)</b>	26-33
<b>Entblute-Gerät</b>	Messer
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	52 Schweine (61,9%) von N=84

### **3.5.11.3 Untersuchung U2 in Betrieb 12: Reaktionen während der Entblutung RENNER-Gerät mit 500 Hz Rechteckstrom**

Bei der Erfassung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe (RS) bei 100 Tieren (N=100) 45-55s nach Durchströmungsbeginn (Hirn-Herz (Freihand), Gerät RENNER 500Hz Rechteckwechselstrom) reagierten 57 (57%) Tiere (RS positiv), während 43 (43%) Schweine keine Reaktion (RS negativ) zeigten. 8 (8%) Schweine zeigten bei der Untersuchung eine Reaktion am Auge (Lid- oder Cornealreflex (CR positiv)), und bei 7 (7%) Tieren wurde eine Kombination beider Reaktionen festgestellt. Insgesamt blieben 42 (42%) Schweine reaktionslos.

<b>Tabelle 26: Betrieb 12 (U2)</b>	Betrieb 12 (Untersuchung U2)
<b><u>Betäubungstechnik</u></b>	
<b>Betäubungssystem</b>	Hirn-Herz (Freihand)
<b>Betäubungsgerät</b>	RENNER-Gerät mit Zeitabschaltung
<b>Stromform</b>	Rechteck 500 Hz
<b>Elektrodenhalter</b>	Handzange (Fa. FUHRMANN)
<b>Elektrodenform</b>	Rechteck mit Zähnen
<b>Besonderheiten</b>	---
<b><u>Durchführung der Betäubung</u></b>	
<b>Durchströmung Kopf</b>	Auge-Ohr, Ohr-Ohr
<b>Stromstärke (A)</b>	1,4-1,6
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	2-4s
<b>Durchströmung Herz</b>	nach Umsetzen Schläfe-Brustwand hinter Buggelenk
<b>Stromstärke (A)</b>	1,6-1,8
<b>Spannung (V)</b>	300
<b>Dauer (s)</b>	3-8s
<b><u>Befund</u></b>	
<b>Reaktion an der Rüsselscheibe</b>	57 Schweine (57%) von N=100

### 3.6 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse

Auf den folgenden Seiten sind die Ergebnisse der verschiedenen Betriebe (und Untersuchungen) tabellarisch zusammengestellt. Die Untersuchungen wurden nach dem Betäubungssystem (Hirn-Herz, Hirn-Herz-Hochfrequenz, Kopfdurchströmung) gruppiert und die einzelnen Gruppen nach der Stun-stick-time, der Zeitdauer zwischen Betäubungsbeginn und Stechen, sortiert. Die Ergebnisse der Reaktionsproben (Tab. 27 (S. 111) und Tab. 28 (S.112)) für die einzelnen Betäubungssysteme sind in Abb. 10 (s.S. 113) graphisch aufbereitet.

Insgesamt wurden im Rahmen der Untersuchungen 1.741 Tiere (Tab. 27) in 12 Betrieben (18 Untersuchungen) auf das Vorliegen einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe untersucht, bei 1.266 Schweinen wurde außerdem das Vorhandensein der Reflektorik am Auge (Lid- und/oder Cornealreflex) überprüft.

475 Schweine reagierten auf das Trauma an der Rüsselscheibe (27,3% von 1.741), wobei der Mittelwert der Ergebnisse in den Betrieben 32,9% betrug (Betriebsmittelwert). Die Gruppe der Untersuchungen nach Hirn-Herz-Durchströmung weist einen Betriebsmittelwert von 17,7% „RS positiver“ Tiere auf. Zwischen den Betrieben zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede bezogen auf die Befunde nach der Betäubung und ihrer Reaktionslosigkeit, hierbei fällt der Betrieb 11 besonders auf, an dem erstmals eine frequenzmodulierte Betäubungseinleitung zur Anwendung gelangte. Diese Untersuchung in Betrieb 11 mit 237 Tieren nach Betäubung mit frequenzmoduliertem Strom innerhalb der ersten 500ms bei der Kopf- und bei der Herzdurchströmung von 10KHz auf eine Basisfrequenz von 100Hz resp. 80Hz markiert den kleinsten Anteil „RS pos.“ Tiere bei allen Untersuchungen mit 4,6%. Demgegenüber wurde nach Hirn-Herz-Durchströmung mit höherfrequentem Strom (Festfrequenzen: 300 - 500Hz) ohne Modulation auf eine tiefere Basisfrequenz im Betriebsmittel bei 54,4% der Tiere eine Reaktion (RS pos.) festgestellt und nach alleiniger Kopfdurchströmung (Festfrequenzen: 50 - 425Hz) im Betriebsmittel bei 45,0% der Tiere. Von 1.266 Tieren (11 Untersuchungen an 7 Betrieben; Tab. 28 (S. 112)), bei denen die Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe und die Reaktion am Auge (Corneal- und/oder Lidreflex) überprüft wurden, reagierten 309 Schweine auf das Trauma an der Rüsselscheibe (24,4% von 1.266; Betriebsmittelwert 32,9%), 103 Tiere reagierten auf Berührung der Cornea mit Lid- und/oder Cornealreflex (8,1% von 1.266, Betriebsmittelwert 10,8%) und insgesamt 49 Schweine zeigten beide Reaktionen (3,9% von 1.266, Betriebsmittelwert 5,0%).

<b>Betäubungssystem: Hirn-Herz</b>					
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>% RS pos.</b>	<b>Stromform</b>	<b>Stun-stick-time (s)</b>
<b>11</b>	237	11	4,6%	Frequenzmodu-- lation (500ms)	11-14
<b>7</b>	51	12	23,5%	Sinus 50Hz	11-15
<b>1 (U1)</b>	120	34	28,3%	Sinus 50Hz	13-15
<b>1 (U2)</b>	100	21	21,0%	Sinus 50Hz	13-15
<b>1 (U3)</b>	100	22	22,0%	Sinus 50Hz	13-15
<b>6</b>	68	15	22,1%	Sinus 50Hz	13-15
<b>10 (U1)</b>	260	26	10,0%	Sinus 50Hz	16-20
<b>10 (U2)</b>	77	11	14,3%	Sinus 50Hz	16-20
<b>10 (U3)</b>	97	13	13,4%	Sinus 50Hz	16-20
<b>N= 1110    MW= 17,7%    (4,6%-28,3%)</b>					

<b>Betäubungssystem: Hirn-Herz (300-500Hz)</b>					
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>% RS pos.</b>	<b>Stromform</b>	<b>Stun-stick-time (s)</b>
<b>1 (U4)</b>	72	32	44,4%	Sinus 300Hz	13-15
<b>12 (U1)</b>	84	52	61,9%	Rechteck 425Hz	26-33
<b>12 (U2)</b>	100	57	57,0%	Rechteck 500Hz	26-33
<b>N= 256    MW= 54,4%    (44,4%-61,9%)</b>					

<b>Betäubungssystem: Kopfdurch- strömung</b>					
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>% RS pos.</b>	<b>Stromform</b>	<b>Stun-stick-time (s)</b>
<b>8</b>	50	13	26,0%	Rechteck 425Hz	15-17
<b>2</b>	73	19	26,0%	Rechteck 425Hz	19-21
<b>4</b>	62	37	59,7%	Sinus 50Hz	30-40
<b>3</b>	90	47	52,2%	Sinus 50Hz	32-40
<b>5</b>	50	28	56,0%	Sinus 50Hz	35-40
<b>9</b>	50	25	50,0%	Sinus 50Hz	35-45
<b>N= 375    MW= 45,0%    (26%-59,7%)</b>					

Tab. 27: Aufstellung der Untersuchungen nach Betäubungssystem gruppiert und innerhalb der Gruppen nach der Dauer zwischen Betäubungsbeginn und Stechen (Stun-stick-time) sortiert.  
(RS pos. = Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe)

<b>Betäubungssystem: Hirn-Herz</b>							
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>CR positiv</b>	<b>RS&amp;CR positiv</b>	<b>% RS</b>	<b>% CR</b>	<b>% RS&amp;CR</b>
<b>11</b>	237	11	0	0	4,6%	0,0%	0,0%
<b>7</b>	51	12	12	5	23,5%	23,5%	9,8%
<b>1 (U1)</b>	120	34	5	1	28,3%	4,2%	0,8%
<b>1 (U2)</b>	100	21	1	0	21,0%	1,0%	0,0%
<b>10 (U1)</b>	260	26	12	10	10,0%	4,6%	3,8%
<b>10 (U2)</b>	77	11	10	2	14,3%	13,0%	2,6%
<b>10 (U3)</b>	97	13	33	5	13,4%	34,0%	5,2%
<b>Getestet RS u. CR :</b>	<b>942</b>	<b>128</b>	<b>73</b>	<b>23</b>	<b>ø 16,5%</b>	<b>ø 11,4%</b>	<b>ø 3,2%</b>
<b>Gruppenergebnis:</b>	<b>1110</b>	<b>165</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>ø 17,7%</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

<b>Betäubungssystem: Hirn-Herz (300-500Hz)</b>							
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>CR positiv</b>	<b>RS&amp;CR positiv</b>	<b>% RS</b>	<b>% CR</b>	<b>% RS&amp;CR</b>
<b>12 (U1)</b>	84	52	4	3	61,9%	4,8%	3,6%
<b>12 (U2)</b>	100	57	8	7	57,0%	8,0%	7,0%
<b>Getestet RS u. CR :</b>	<b>184</b>	<b>109</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>ø 59,5%</b>	<b>ø 6,4%</b>	<b>ø 5,3%</b>
<b>Gruppenergebnis:</b>	<b>256</b>	<b>141</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>ø 54,4%</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

<b>Betäubungssystem: Kopfdurchströmung</b>							
<b>Betrieb (Versuch)</b>	<b>N=</b>	<b>RS positiv</b>	<b>CR positiv</b>	<b>RS&amp;CR positiv</b>	<b>% RS</b>	<b>% CR</b>	<b>% RS&amp;CR</b>
<b>3</b>	90	47	12	11	52,2%	13,3%	12,2%
<b>9</b>	50	25	6	5	50,0%	12,0%	10,0%
<b>Getestet RS u. CR :</b>	<b>140</b>	<b>57</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>ø 51,1%</b>	<b>ø 12,7%</b>	<b>ø 11,1%</b>
<b>Gruppenergebnis</b>	<b>375</b>	<b>154</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>ø 45,0%</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

Tab. 28: Aufstellung der Untersuchungen nach Betäubungssystem gruppiert und innerhalb der Gruppen nach der Dauer zwischen Betäubungsbeginn und Stechen (Stun-stick-time) sortiert.  
(RS pos.= Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe; CR pos.= Reflektorik am Auge (Lid- oder Cornealreflex); RS&CR= Reaktion sowohl auf das Trauma an der Rüsselscheibe als auch am Auge; Getestet RS u. CR= jeweilige Summen nur für die Betriebe (Tiere), bei denen beide Reaktionen aufgenommen wurden; Gruppenergebnis= Summen für alle Betriebe, an denen die Reaktion an der Rüsselscheibe überprüft wurden (s. Tab. 27))

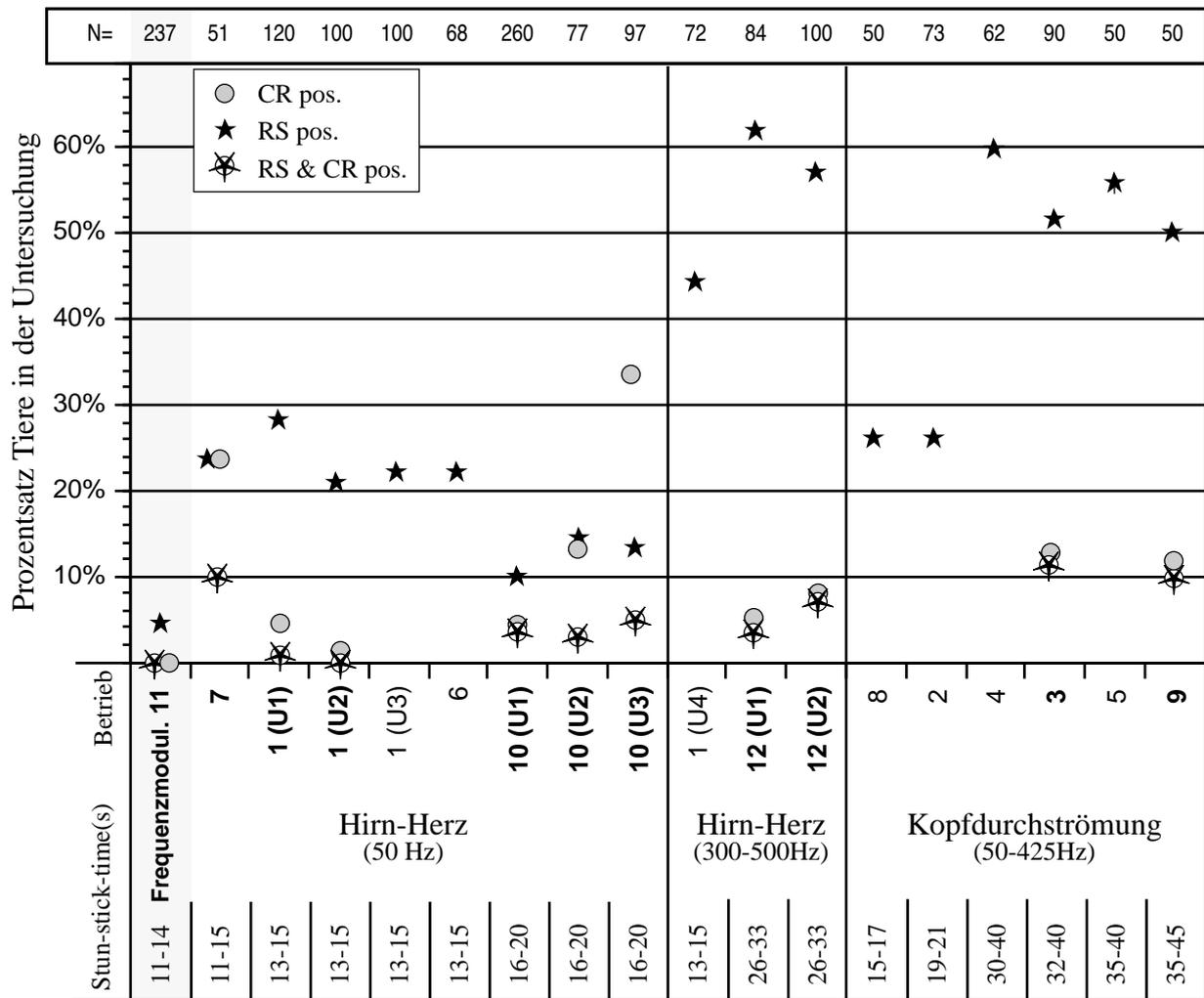


Abb. 10: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe (RS pos.) bei insgesamt 1.741 Tieren in 12 Betrieben (18 Untersuchungen) und der Prüfung auf vorhandene Reflektorik am Auge (CR pos.) bei insgesamt 1.266 Tieren in 7 Betrieben (11 Untersuchungen), unterteilt in Gruppen nach dem verwandten Betäubungssystem (Hirn-Herz, Hirn-Herz-Hochfrequenz, Kopfdurchströmung) und sortiert nach dem Zeitpunkt des Stechens nach Betäubungsbeginn (Stun-stick-time).

Betrieb 11 mit frequenzmoduliertem Betäubungsstrom innerhalb 500ms von 10 KHz auf 100 Hz Basisfrequenz bei der Kopfdurchströmung und 10 KHz auf 80 Hz Basisfrequenz bei der Herzdurchströmung weist den kleinsten Anteil „RS pos.“ Tiere nach der Betäubung auf (RS pos.: 4,6% ; CR pos.: 0,0% (N=237)).

(RS pos. = Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe; CR pos. = Reflektorik am Auge (Corneal- oder Lidreflex); RS&CR = Beide Reaktionen bei einem Tier).

## **4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE**

### **4.1 Tierschutzgerechte elektrische Betäubung**

Als Grundvoraussetzungen einer tierschutzgerechten Betäubung im Rahmen der Schlachtung wurde definiert, daß die Betäubungswirkung unmittelbar einsetzen und so lange anhalten muß, daß die Betäubung ohne Erholung des Tieres unmittelbar in den entblutungsbedingten Tod übergeht.

Die elektrische Betäubung basiert auf der Auslösung eines generalisierten cerebralen Anfalles (GCA, s. Kap. 2.3.1, S. 6) als direkte Folge des Stromflusses. Verschiedene Gehirnteile (wahrscheinlich in der Thalamusregion) sind, wenn sie direkt durch den Stromfluß oder indirekt über andere Nervenzellen erregt werden, für die „Generalisierung“ und „Erhaltung“ des Anfalles verantwortlich, der mit einer Grand-mal-typischen Symptomatik tonisch-klonischer Krämpfe einhergeht (Kap. 2.3.3.2 (s.S. 14) und Kap. 2.3.4 ff. (s.S. 15)). Nach Durchströmungsbeginn vergeht ein aus technischen Gründen nicht näher bestimmbarer Zeitraum von mehreren Hundertstelsekunden bis zum generalisierten Anfall. In diesem Zusammenhang sind im Gehirn extrazelluläre Neurotransmitter mit einer die Erregungsschwelle der Neurone senkenden Wirkung und zeitlich versetzt Neurotransmitter mit inhibitorischer Wirkung an den Nervenzellsynapsen nachweisbar, und es kommt zum Anstieg streßkorrelierter Hormone im Blut (Kap. 2.3.5 (s.S. 30)).

Elektroencephalographisch stellt sich der GCA als Ableitung mit initial hoher Amplitude von mehreren hundert  $\mu$ V und hoher Frequenz dar, die Frequenz der gleichbleibend hohen Potentiale sinkt im weiteren Verlauf, bis die Ableitung nahezu übergangslos in eine letzte niederfrequente Phase mit niedrigen Potentialen übergeht (Abb. 1, S. 21). Bei unzureichender Blutversorgung des Gehirnes sind diese Stadien kurz, und auf die dritte Phase folgt rasch eine sog. „isoelektrische Ableitung“, d.h. die Potentialunterschiede fallen bis unter die Nachweisgrenze des Verfahrens. Ist die Blutversorgung des Gehirnes ausreichend für die Erholung von dem GCA, gleicht die elektroencephalographische Ableitung nach kurzer Zeit dem Normalbefund bei gesunden, unbetäubten Tieren, und die Tiere erwachen aus der Betäubung (Kap. 2.3.4.2 ff. (s.S. 15)).

Die Dauer der elektroencephalographischen Veränderungen und der tonisch-klonischen Symptomatik variiert stark zwischen Tierarten und Individuen (Kap. 2.3.4 ff. (s.S. 15)). Die Ursachen hierfür sind nach wie vor unklar. Einen - nicht abschließend geklärten - Einfluß auf die Dauer der EEG-Veränderungen haben die Stromform, die

Stromfrequenz, die Stromflußdauer und möglicherweise die Stromstärke und der Stromweg (die verschiedenen Ansatzstellen am Kopf) (Kap. 2.4 ff. (s.S. 38)). Bei der Elektronarkose werden besondere Stromformen und Frequenzen sowie die Stromstärke gezielt eingesetzt, um Grand mal-Symptome (Krämpfe, Atemstillstand) zu vermeiden und die Wirkung des elektrischen Stromes zu steuern (Kap. 2.3.3.1 (s.S.11)). Hohe Stromfrequenzen stehen in dem Verdacht, einen verkürzten oder unvollständigen cerebralen Anfall hervorzurufen, wenngleich diese (auch empirisch bestätigten) Beobachtungen noch nicht elektroencephalographisch untermauert sind.

Die Unterbindung der Blutversorgung des Gehirnes ist entscheidend für die Vermeidung der Erholung der Tiere von dem Anfall. Dies kann durch frühzeitiges Stechen sowie durch synchrone oder asynchrone Hirn-Herz-Durchströmung mit Auslösung von Kammerflimmern sichergestellt werden (Kap. 2.3.4.2 ff. (s.S. 15), 2.3.7 (s.S. 35) u. 2.4.4 ff. (s.S. 52)). Ströme mit Frequenzen über 100Hz sind zur Auslösung von Herzkammerflimmern weniger geeignet.

Die genannten Stromparameter stehen in der Betäubungspraxis durch die Umstände bei der Durchströmung (Betäubungsgerät, Elektroden, Elektrodenansatz, Widerstandsveränderungen etc.) und die Parameter der Durchführung (Personal, Fixierung, Erregungszustand der Tiere etc.) in enger, jedoch kaum standardisierbarer Beziehung zueinander (Kap. 2.4 ff (s.S. 38)). Aus diesen Gründen basieren alle vorhandenen Empfehlungen zu Stromparametern der Durchströmung (Stromstärke und -flußdauer, Stromform und -frequenz, Ansatzstellen) mehr oder minder auf empirischen Daten.

Für die Überprüfung und Überwachung der elektrischen Betäubung bedeutet dies, daß eine technische Überprüfung (Feststellung der Geräteeinstellungen und -leistung, Zustand der Kabel und Elektroden ...) allein nur geringe Aussagekraft für die Beurteilung der Tierschutzgerechtigkeit hat. Sie bildet vielmehr zusammen mit der Überprüfung der Rahmenbedingungen der Betäubung (Vorgehen des Personals bei der Durchführung, Stun-stick-time, korrektes Vorgehen beim Stechen) die Grundlage, von der ausgehend die klinische Untersuchung an mehreren Stichproben durchgeführt werden sollte. Die Auslösung des GCA kann anhand der tonisch-klonischen Krämpfe, Sistieren der Atmung, fehlender Lautäußerungen und Abwesenheit von Reflexen und Reaktionen (bspw. Entblutestich) festgestellt werden. Die Bewertung der Tierschutzgerechtigkeit muß jedoch Befunde zur Erholung von dem generalisierten Anfall (kein Wiedererlangen von Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen), erhoben an einer repräsentativen Tiergruppe, miteinbeziehen.

## 4.2 Die Überprüfung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe während der Entblutung

### 4.2.1 Reflex- und Reaktionsprüfungen bei der Elektrobetäubung

Für die Bewertung der Elektrobetäubung unter Praxisbedingungen wurden von anderen Untersuchern die Reflexe am Auge (Lid-, Corneal- oder Pupillarreflex) und Reaktionsprüfungen am Kopf (Schnitt in die Haut an der Schläfe) und an den Extremitäten (Kneifen in die Haut des Zwischenklauenspaltes) verwendet. Bei Versuchen zur Erholung nach elektrischer Betäubung wurden außerdem Reaktionen auf das Stechen in die Rüsselscheibe mit einer Nadel, gerichtete Augenbewegungen und das Anheben des Kopfes oder Aufrichten des Tieres als Kennzeichen wiederkehrender Empfindung und Wahrnehmung gewertet (Kap. 2.5.1 (s.S. 60).

In den eigenen Untersuchungen wurde der Corneal- und der Lidreflex zu dem Parameter „CR pos./neg.: Reaktion am Auge, d.h. Corneal- und/oder Lidreflex“ zusammengefaßt. ROOS U. KOOPMANS (1936) verwiesen im Zusammenhang mit der Überprüfung des Lid- und Cornealreflexes darauf, daß auch durch direkte Stromwirkung auf die Haut in der Nähe des Elektrodenkontaktes bei der Betäubung der oberflächliche Anteil des *N. facialis*, der Effektor (Muskulatur am Augenlid) oder der Rezeptor (sensible Innervation am Auge) in einer Form betroffen sein können, die keine sichtbare Reaktion zuläßt, obwohl das Gehirn voll funktionsfähig ist.

Bei den eigenen Untersuchungen erwiesen sich als Nachteile der Reflexprüfungen am Auge, daß

1. die Augen bei hängender Entblutung nur schwer zu befunden waren und
2. die Reflexe bei starker Krampfaktivität nicht sicher beurteilt werden konnten.

WYSS (1985) kam bei Vorversuchen zu Reaktionsprüfungen am Auge zu einem ähnlichen Schluß und verwandte stattdessen einen Hautschnitt an der Schläfe zur Betäubungsbewertung. Er betrachtete die Reaktion auf einen Hautschnitt an der Schläfe als „wahrnehmungsgekoppelte Aktivität“ und Tiere mit positiver Reaktion als „fehlbetäubt“. Er untersuchte insgesamt 1.700 Tiere „20-30s nach Betäubungsende am Stechplatz“<sup>5</sup> nach alleiniger Kopfdurchströmung mit 75V (N=200, 40% positive), 220V (N=500, 10,4% positive), 260V (N=500, 10,4% positive) und 320V (N=500,

---

<sup>5</sup> Näheres zu den Betäubungsbedingungen wie Durchströmungsdauer, Stun-stick-time oder Elektrodenpositionierung wurde nicht angegeben. Vor dem Hintergrund der Literatur ist davon auszugehen, daß die angesprochenen Ergebnisse von WYSS (1985) sich nicht auf die Auslösung des Betäubungseffektes sondern auf die Erholung von dem Anfall beziehen.

13,2% positive). Er konstatierte, daß 75V für eine effektive Betäubung nicht ausreichen. Die Resultate bei Spannungen über 200V würden hingegen darauf hinweisen, daß die hohe Spannung allein eine Betäubung nicht zu garantieren vermag und der Einfluß des Betäubungsumfeldes weiterer Forschung bedarf.

Da jedoch auch der Hautbereich an der Schläfe direkt vom Stromfluß beeinträchtigt sein kann, ist auch hier eine Beeinflussung des Rezeptors nicht auszuschließen. Die relativ niedrigen Anteile positiver Reaktionen nach alleiniger Kopfdurchströmung, im Vergleich zu den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen, könnten darauf zurückzuführen sein.

Um den Faktor „direkte Stromwirkung auf den Rezeptor“ auszuschließen, wurde in der vorliegenden Untersuchung die Reaktionsprüfung auf ein Trauma an der Rüsselscheibe gewählt. Der Rezeptor (Rüsselscheibe und vorderes Nasenseptum) liegt weit entfernt von den gängigen Elektrodenansatzstellen. Es erscheint daher unwahrscheinlich, daß das elektrische Feld, das sich in und unter der Haut an den Elektrodenkontakten ausbildet, die Reizperzeption beeinträchtigt. Befürchtungen, daß die verschiedenen Hals- und Nackenmuskeln, die für die Reaktion (Kopfbewegung) verantwortlich sind, durch Elektrodenansatz am Ohrgrund oder im Nacken beeinträchtigt werden, haben sich - subjektiv - nicht bestätigt. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß es bei dem Test an der Rüsselscheibe zu einer derartigen Beeinträchtigung kommen kann.

Als Vorteile der Überprüfungsmethode in der Praxis erwiesen sich im Rahmen der Untersuchungen folgende Umstände:

1. Eine eindeutige Zuordnung von Reiz (Zusammendrücken der modifizierten Zange) und Reaktion (Kopfbewegung), die mit der Hand, die die Zange hielt, zu spüren war.
2. Die Wiederholbarkeit der Überprüfung.
3. Der Test war bei liegender und hängender Entblutung (ggf. auch einhändig) durchführbar.
4. Die Anschaulichkeit der Reaktion und didaktische Eignung der Methode bei der Diskussion mit den Schlachthofbetreibern oder dem Betäubungspersonal! Die Reaktion wird anthropozentrisch als Schmerzreaktion des vermeintlich betäubten Tieres interpretiert und eignet sich daher hervorragend zur Sensibilisierung für die Tierschutzproblematik bei der Schlachttierbetäubung.

## **4.2.2 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe**

Insgesamt wurden die Reaktionen bei 1.741 Tieren im Rahmen der eigenen Untersuchungen befundet. Bei keiner der insgesamt 18 Untersuchungen an 12 Betrieben waren alle Tiere reaktionslos. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen aber, daß unterschiedliche Schlachtbedingungen insbesondere das Betäubungssystem (Hirn-Herz-Durchströmung, Kopfdurchströmung) und die Stromform (Hirn-Herz-Durchströmung mit höheren Frequenzen (300-500Hz)) sowie die Zeit zwischen Betäubungsbeginn und Stechen einen Einfluß auf den Anteil der „RS positiven“ Tiere haben.

Die Überprüfung einer Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe ist, wie der Vergleich mit den Anteilen von Tieren mit Reflexen am Auge (Tab. 28, S.114) zeigt, ein sensibler Indikator für die Erholung des Gehirnes von der elektrischen Betäubung und damit für die Tierschutzgerechtigkeit der Elektro-Betäubung bei Schlachtschweinen.

### **4.2.2.1 Betriebe mit alleiniger Kopfdurchströmung**

Der Zusammenhang zwischen ausreichender Sauerstoffversorgung zur Einleitung des Erholungsstadiums infolge erhaltener Herztätigkeit und spätem Stechen nach der Betäubung läßt sich an der Tab. 27, S. 113, (s.a. Abb. 11, S.121) beim Vergleich der Betriebe mit Kopfdurchströmung ablesen. Alle vier Betriebe mit alleiniger Kopfdurchströmung und einer Stun-stick-time oberhalb 30s (Betriebe 3, 4, 5, 9) wiesen mindestens 50% „RS pos.“ Tiere auf (im Mittel 54,5%) und liegen damit weit über den beiden Betrieben 8 und 2 mit Stun-stick-time unter 21s. An den Betrieben 4 und 5 (59,7% und 56,0% „RS pos.“) resultierte die lange Stun-stick-time aus einer starken Krampfaktivität nach der Betäubung, während an den Betrieben 3 und 9 in erster Linie die räumlichen Bedingungen ein früheres Stechen verhinderten.

Die Betriebe 8 und 2 mit alleiniger Kopfdurchströmung und den kürzesten Stun-stick-Intervallen (15-17s und 19-21s) in dieser Gruppe erreichten mit diesem Betäubungssystem Prozentanteile „RS pos.“ Tiere von 26%. In beiden Betrieben wurden die Tiere bereits am Elevator gestochen, derartig kurze Stun-stick-times sind bei Betäubung in der Bucht sonst kaum zu erreichen.

Demgegenüber blieben sieben der acht Betriebe mit der kombinierten Hirn-Herz-Durchströmung unterhalb der 26% und alle drei Untersuchungen an Betrieb 10 mit einer vergleichbar langen Stun-stick-time (16-20s) wie an Betrieb 8 und 2 erreichten Prozentsätze unter 15% „RS pos.“ Tiere (s.a. Abb. 11).

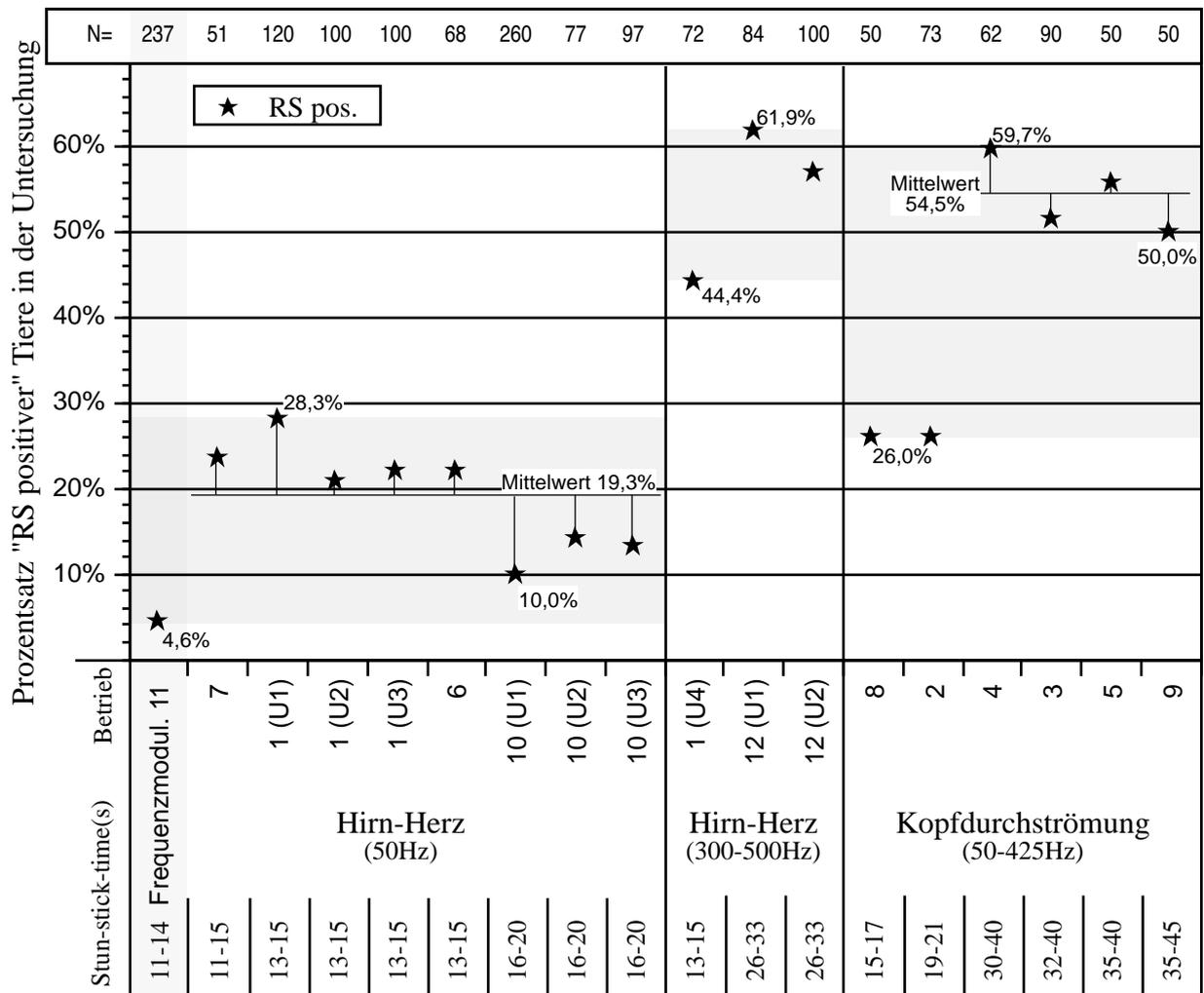


Abb. 11: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe bei 1.741 Tieren in 12 Betrieben (18 Untersuchungen) unterteilt in Gruppen nach Betäubungssystem (Hirn-Herz, Hirn-Herz-Hochfrequenz, Kopfdurchströmung) und sortiert nach dem Zeitpunkt des Stechens nach Betäubungsbeginn (Stun-stick-time) Die Sterne kennzeichnen die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen (RS pos.) und die graue Unterlegung zeigt die Spanne (Min-Max) der Betriebsergebnisse für das jeweilige Betäubungssystem. Betrieb 11 mit frequenzmoduliertem Betäubungsstrom innerhalb 500ms von 10 KHz auf 100 Hz Basisfrequenz bei der Kopfdurchströmung und 10 KHz auf 80 Hz Basisfrequenz bei der Herzdurchströmung weist den kleinsten Anteil „RS pos.“ Tiere nach der Betäubung auf (RS pos.: 4,6% ; CR pos.: 0,0% (N=237)).

Die elektrische Betäubung ist reversibel und nach alleiniger Kopfdurchströmung mit Auslösung des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) beginnt bei der Mehrzahl der Tiere nach Ende der hypersynchronen Neuronenaktivität (T1 in Abb.1, s.S. 21) die sog. „Erschöpfungsphase“ (T2 in Abb. 1), die fließend in ein „Normal-EEG“ übergehen kann (Kap. 2.3.4 (s.S. 15)). Bei den Untersuchungen von ANIL (1991) setzte im Mittel bereits nach 44s regelmäßige Atmung ein, und alle betäubten Tiere erholten sich rasch von dem GCA. Die Erholung des Gehirnes kann durch frühzeitiges Stechen wirkungsvoll unterbunden werden, und die Tiere erlangen kein Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen sondern sterben infolge der Unterbrechung der cerebralen Blutversorgung (möglicherweise in Kombination mit hypovolämischen Schockerscheinungen). Der frühe Zeitpunkt des Stechens ist jedoch bei alleiniger

Kopfdurchströmung entscheidend für die Vermeidung einer möglichen Erholung. GREGORY U. WOTTON (1984b) stellten bei ihren Untersuchungen an Schafen fest, daß die Dauer der generalisierten hypersynchronen EEG-Ableitung (T1 in Abb. 1) bei einer Stun-stick-time von 10s mit  $21s \pm 5$  rund halb so lang wie bei Stechen 40s nach Betäubungsbeginn ( $56s \pm 6$ ) war, und befanden, daß die Elektrobetäubung ohne Auslösung von Kammerflimmern nur bei frühem Stechen (rd. 10s nach Betäubungsbeginn) tierschutzgerecht sei.

Beim Schwein ist, wie bei Rind und Schaf, nach den Ergebnissen von HOENDERKEN ((1978), Abb. 6, S.37) die richtige Schnitfführung beim Entbluteschnitt ebenso entscheidend für den unmittelbaren Übergang von der GCA-bedingten Betäubungswirkung in den Tod infolge Entblutung. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Erfahrung des Personals an der Entbluteposition und die Vermeidung des Stechens in der klonischen Phase, die dessen richtige Durchführung vereiteln kann. Da die tonische Phase, in der der Entblutestich nicht durch Konvulsionen behindert wird, weitgehend unabhängig von den gewählten Betäubungsstromparametern (Kap. 2.3.4.2 (s.S. 15) u. Kap. 2.3.4.5 (s.S. 23)) nach Durchströmungsbeginn (Anfallsbeginn) nur kurz anhält, müßten die Tiere bei längeren Durchströmungszeiten unmittelbar bei Stromflußende gestochen werden. Nur so kann eine effektive Entblutung durch Eröffnung der *V. cava craniales* und des *Truncus bicarotis* in jedem Fall sicher gestellt werden. In der Praxis ist dies bei der Buchtenbetäubung durch die (auch hygienebedingten) Zwischenschritte des Anschlingens und Hochziehens auf das Schlachtband sowie die Positionierung über einem Entblutebereich kaum umsetzbar. Aus der Kombination von spätem Stechen und Behinderung bei der Entblutung resultieren eine fortschreitende Erholung des Gehirns bei einer größeren Zahl der Tiere und folgerichtig höhere Anteile von Tieren, die bei entsprechenden Tests eine Reaktion zeigen. Derartige Reaktionen müssen nicht zwangsläufig bereits „empfindungskorreliert“ sein, weisen aber auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit vollständiger Wiedererlangung von Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit hin.

---

Die eigenen Untersuchungen unterstreichen den wesentlichen Einfluß des frühzeitigen Stechens auf den Anteil sich erholender Tiere während der Entblutung bei alleiniger Kopfdurchströmung. Selbst bei kurzer Stun-stick-time (bis 21s nach Beginn der Kopfdurchströmung) war das Betäubungssystem jedoch der Hirn-Herz-Durchströmung mit sicherer Auslösung von Kammerflimmern unterlegen.

---

#### 4.2.2.2 Betriebe mit Hirn-Herz-Durchströmung

Bei den Untersuchungen an Betrieben, die mit dem Betäubungssystem der Hirn-Herz-Durchströmung arbeiteten, wurde eine Untergruppe gebildet, bei denen höhere Frequenzen (300-500Hz) zur Auslösung der Betäubung und des Kammerflimmerns eingesetzt wurden (Tab. 27, S.113; Abb. 11, S. 121). Die Untersuchungsergebnisse (Kap. 4.2.2.3; s.S. 129) nach Hirn-Herz-Durchströmung mit höheren Festfrequenzen (300-500Hz) liegen zwischen 44,4% und 61,9% „RS pos.“ Tiere und damit deutlich höher als nach Hirn-Herz-Durchströmung mit AC\_50Hz Festfrequenz.

Demgegenüber wurde der kleinste Prozentsatz (4,6%) „RS positiver“ Tiere an Betrieb 11, der mit frequenzmoduliertem Betäubungsstrom arbeitete, registriert. Die Betäubungsanlage (Prototyp Fa. Jung, der Untersucher war an der Konzeption der Frequenzmodulation beteiligt) arbeitete mit Wechselströmen, deren Frequenz innerhalb 500ms von 10.000Hz auf 100Hz am Kopf und auf 80Hz für die Herzdurchströmung heruntergeregelt wurden. Dem Konzept liegt die schnellere Überwindung des initialen Hautwiderstandes durch hochfrequenten Strom zugrunde (FREIBERGER (1934), BIEGELMEIER (1986)), mit dem sozusagen eine „Passage“ für die nachfolgende, niederfrequente Durchströmung geschaffen wird. Die Basisfrequenz (Kopf: 100Hz, Herz: 80Hz) wurde am Herzen niedriger gewählt, weil die Erregungsempfindlichkeit von Muskelgewebe und Myokard bei Frequenzen oberhalb von 100Hz sinkt und die „Flimmerschwelle“ (notwendige Stromstärke und Stromflußdauer zur Auslösung von Kammerflimmern) mit steigender Frequenz ansteigt. Die höchste Empfindlichkeit des Herzens für die Auslösung von Kammerflimmern (niedrigste Flimmerschwelle) liegt wahrscheinlich bei Frequenzen von 50-60Hz (FREIBERGER (1934), FERRIS ET AL. (1936), BIEGELMEIER (1977, 1986)).

Die Untersuchungen, bei denen 50Hz-Sinus-Wechselstrom zum Einsatz kam, wiesen Anteile „RS positiver“ Tiere zwischen 10,0% und 28,3% auf, mit einem Mittelwert der jeweiligen Untersuchungsergebnisse von 19,3% „RS pos.“ (Abb. 11; S. 121). Die Ergebnisse streuen um fast 20%.

WOLTERSDORF (1990) fand bei seinen Untersuchungen eine Beziehung zwischen steigender Durchströmungsdauer bei Verwendung eines Konstantstromgerätes mit AC\_1,5A\_50Hz\_Sinus, d.h. der Gesamtstrommenge ( $A*s = \text{Coulomb}$ ), und der Dauer der Reflexlosigkeit (Cornealreflex). COOK ET AL. (1995) stellten bei Durchströmungsdauern zwischen 200ms und 4s mit AC\_1,0A\_50Hz\_Sinus ebenfalls einen Anstieg der Dauer der hypersynchronen Ableitungen im EEG von Schafen (ohne Schlachtung) fest (Abb. 2, s.S. 28). Demgegenüber konnte ANIL (1991) bei Schweinen keinen Einfluß von Stromstärke und Stromflußzeit bei 50Hz-Wechselströmen auf die Dauer der

Anfallssymptomatik und der Reaktionslosigkeit oder den Zeitpunkt gerichteter Augenbewegungen nachweisen. GREGORY ET AL. (1996) wiederum beobachteten einen Einfluß höherer Spannungen im Sinne einer verkürzten Dauer der hypersynchronen Ableitungen im EEG von Rindern, jedoch keinen Einfluß auf den Zeitpunkt des Wiederaufstehens. Der Einfluß von Stromstärke und Gesamtstrommenge ist demzufolge noch unzureichend geklärt.

Eine Berechnung der Strommenge bei der Kopfdurchströmung und der Gesamtstrommengen (Summe der Strommengen an Kopf und Herz aus den Tabellen zu den Betrieben) ergab bei den eigenen Untersuchungen weder für die Betriebe mit Hirn-Herz-Durchströmung noch für die Betriebe mit alleiniger Kopfdurchströmung einen derartigen Zusammenhang für die Anteile der Tiere mit einer Reaktion an der Rüsselscheibe oder vorhandener Reflektorik am Auge (s.a. Kap. 4.3.1.3 (S. 143))

Als Erklärung für die Streuung der Ergebnisse nach Hirn-Herz-Durchströmung mit AC\_50Hz\_Sinus bieten sich eher die Unterschiede der Durchströmungsparameter bei der Herzdurchströmung an. In den Untersuchungen an Betrieb 6 und 7 und den Untersuchungen U1, U2, U3 an Betrieb 1 wurden Stromstärken zwischen 0,2A und 0,9A für 2-4s bei der Herzdurchströmung eingesetzt. Demgegenüber lag die Stromstärke an Betrieb 10 zwischen 2,0-2,5A (2,5s) bei Untersuchung U1, 1,9-2,2A (3s) bei U3 und 1,0-1,2A (4s) in U2.

FERRIS ET AL. (1936), BIEGELMEIER (1977, 1986), MICKWITZ U. REINHARD (1967), DEMMLER (1988) und MICKWITZ ET AL. (1989) verwiesen auf den Einfluß der Stromstärke und der Dauer der Stromeinwirkung auf die Auslösung von Kammerflimmern. Möglicherweise war durch die höheren Stromstärken bei der Herzdurchströmung der Anteil der Tiere mit Kammerflimmern an Betrieb 10 (U1-U3) höher, und es kam durch die höheren Stromstärken bei der Herzdurchströmung - geringfügig - früher nach Durchströmungsbeginn zur Auslösung des Kammerflimmerns.

Eine Untersuchung mit dem „Polar-Sport-Tester“, die von einer anderen Arbeitsgruppe an dem selben Schlachthof durchgeführt wurde (EU-Projekt: „Animal welfare and meat quality“, AIR-Projekt 3-CT92-0262; Verantwortlicher Leiter: Dr. Achim Schütte, Tierärztliche Ambulanz Schwarzenbek des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin (SCHÜTTE (1996), pers. Mitteilung)), erbrachte bei insgesamt 657 Schweinen, die mit dem „Polar-Sport-Tester“ (PST) ausgestattet wurden, einen Anteil von 4,1% (27 Tiere), bei denen nach der Hirn-Herz-Durchströmung mit den routinemäßig eingesetzten Stromparametern (Untersuchung U1, U2 und U3) eine erhöhte Herzfrequenz aufgezeichnet wurde, d.h. kein Kammerflimmern bestand. Einschrän-

kend ist anzumerken, daß der PST nach einer Untersuchung von HOPSTER U. BLOKHUIS (1994) auf Frequenzsprünge um 100-200 Herzschläge/min erst mit Verzögerung (bis 55s) reagiert. Außerdem variiert die Meßgenauigkeit der einzelnen PST-Geräte. WARRIS U. WOTTON (1981) stellten nach Elektrobetäubung ein Ansteigen der Herzfrequenz von 111 Schlägen/min vor Betäubung auf über 240 Schlägen/min fest, und nach GREGORY (1985) kann die Herzfrequenz während der Betäubung auch unter 100 Schläge/min sinken, um nach Betäubungsende reflektorisch stark anzusteigen. Der Anteil der Tiere ohne Auslösung von Kammerflimmern in Betrieb 1 liegt daher möglicherweise weit über den 4,1% mit einer aufgezeichneten Herztätigkeit (PST).

#### 4.2.2.2.1 Betriebe mit Hirn-Herz-Durchströmung bei Verwendung hoher Frequenzen

Deutlich setzten sich die drei Untersuchungen nach Hirn-Herz-Durchströmung mit höherfrequentem rechteck- und sinusförmigem Strom (Betrieb 1(U4), Betrieb 12 (U1), 12 (U2)) bezüglich der Anteile „RS positiver“ Tiere von den anderen Betrieben mit Hirn-Herz-Durchströmung ab. Sie wiesen mit 44,4%-61,9% weit höhere Anteile an „RS positiven“ Tieren auf, als nach Hirn-Herz-Durchströmung mit 50Hz, resp. nach der Betäubung mit dem frequenzmodulierenden Gerät festgestellt wurden.

Als Erklärung kommen drei in der Literatur beschriebene Phänomene in Betracht:

1.) Eine Anhebung der Flimmerschwelle am Herzen bei steigenden Frequenzen.

Bei kurzen Impulsen und bei Frequenzen über 100Hz steigt die Stromstärke und Stromflußdauer, die zur Auslösung von Kammerflimmern nötig ist, nach Untersuchungen von FREIBERGER (1934), FERRIS ET AL. (1936) und BIEGELMEIER (1977, 1986) stark an. REINHARD U. MICKWITZ untersuchten vom Sinus abweichende Stromformen bei Frequenzen von 50-60Hz auf ihre Wirkung am Herzen von Großtieren in Abhängigkeit vom Stromweg durch den Körper. Sie kamen zu dem Schluß, daß unabhängig von der Stromform oberhalb einer Stromstärke von 70mA resp. einer Feldstärke am Herzen von 100mV/cm<sup>2</sup> in Abhängigkeit von der Stromflußdauer mit Kammerflimmern zu rechnen ist (MICKWITZ U. REINHARD (1967), REINHARD U. MICKWITZ (1967, 1969a, 1969b)).

2.) Ein Effekt tendenziell verkürzter Afallsdauer infolge höherer Frequenz des Wechselstromes.

Von ANIL U. MCKINSTRY (1992) und TROEGER U. NITSCH (1996) wurde nach dem Einsatz höherer Frequenzen (500-1.500Hz) tendenziell eine kürzere Grand mal typische Symptomatik und frühere Erholung von dem GCA festgestellt. Ein Nachweis dieser Effekte mittels Elektroencephalographie steht jedoch noch aus.

3.) Unzureichende Eröffnung der Gefäße beim thorakalen Entblutestich  
(insbesondere bei Stechen auf dem Entbluteband im Liegen).

Die Durchführung des Enblutestichs wurde bei Betrieb 1 (U4) durch die vorhandenen klonischen Krampfaktivitäten behindert. Bei hängender Entblutung (Betrieb 12 (U1 u. U2)) kann das Tier auch bei (moderaten) Krampfbewegungen von einem geübten Schlachter durch Festhalten an der Vordergliedmaße für den Entblutestich fixiert werden. Bei liegender Entblutung ist eine Verringerung der Exzitationen für die richtige Durchführung der Entblutung wesentlich wichtiger, weil das Tier sich auf dem Entbluteband unkontrollierbar hin- und herwirft und durch Halten an der Vordergliedmaße kaum fixiert werden kann.

Den Einfluß exakten Stechens hob HOENDERKEN (1978) anhand der Zeit bis zum Eintreten einer isoelektrischen Ableitung im EEG hervor (Abb. 6, s.S. 37). GREGORY U. WOTTON (1984b) verwiesen auf den tierschutzrelevanten Effekt späten Stechens. Die Konsequenzen unzureichender Eröffnung des *Truncus brachiocephalicus* und der *V. cava cranialis* beim Schwein wurde bereits von FAHRBACH (1948) als Wiedererwachen von der elektrischen Betäubung, Aufrichten und Umhergehen oder Wiederaufkeimen von Lebenszeichen im Brühkessel beschrieben. FAHRBACH schlußfolgerte, daß die Elektrobetäubung infolge unsachgemäßer Durchführung der Entblutung durch unerfahrene "Schlachterlehrlinge" in Ver- ruf gekommen sei und daß mit der elektrischen Betäubung die Kunst des Ste- chens neues Gewicht gewonnen habe. Die von BLACKMORE U. NEWHOOK (1976) (u. a. Autoren, s. Kap. 2.3.7, S. 35) angesprochene Problematik der persistierenden Blutversorgung des Gehirnes infolge einer Blutumverteilung über Anastomo- sen der Paravertebral-Arterien mit den Carotiden ("Circle of Willis") bei Rin- dern und Schafen kann bei Eröffnung nur einer Halsarterie (ungenau, zu weit cranial verlaufende Schnittführung) auch bei Schweinen auftreten (BLACKMORE U. DELANY (1988)).

Bei allen drei Untersuchungen nach Hirn-Herz-Durchströmung mit höheren Strom- frequenzen wäre demnach ein höherer Anteil Tiere mit vorhandener Herztätigkeit plausibel. An Betrieb 12 (U1, U2) führte die lange Stun-stick-time (26-33s) dazu, daß ausreichend Sauerstoff für eine fortgeschrittene Erholung des Gehirnes zur Verfügung stand. Hinzu kam die infolge höherfrequenten Betäubungsstromes (300-500Hz) mög- licherweise verkürzte GCA-Dauer, auf die verschiedene Autoren in diesem Zusam- menhang verweisen. Dies würde erklären, warum der Anteil „RS positiver“ Tiere mit 57,0% resp. 61,9% noch über den vier Betrieben mit alleiniger Kopfdurchströmung mit AC\_50Hz\_Sinus (Mittelwert: 54,5%) und vergleichbarer Stun-stick-time lag.

Für eine Erklärung der Ergebnisse der Untersuchung U4 an Betrieb 1 (44,4% „RS pos.“) käme die Behinderung des Stechens durch Exzitationen auf dem Entblutband hinzu. Wesentlicher Unterschied zwischen den Untersuchungen U1-U3 (21-28,3% „RS pos.“) und der Untersuchungen U4 (44,4% „RS pos.“) waren - bei demselben Personal und gleicher Stun-stick-time von 13-15s - unterschiedliche Stromparameter (Frequenz, Stromform) des Betäubungsstromes. Bei den Untersuchungen U1-U3 wurde 50Hz Sinus-Wechselstrom gegenüber 300Hz Rechteck-Wechselstrom bei Untersuchung U4 zur Hirn-Herz-Durchströmung verwandt.

In den Untersuchungen U3 (N=100) und U4 (N=72) an Betrieb 1 (Hirn-Herz-Durchströmung) wurde die Reaktion an der Rüsselscheibe zu unterschiedlichen Zeitpunkten (40-45s und 70-75s) nach Betäubungsbeginn überprüft.

Insgesamt reagierten 26 Tiere in Untersuchung U4 während der Entblutung auf das Trauma. 22 Schweine reagierten 40-45s nach Betäubungsbeginn „RS pos.“, bei 10 der 22 Schweine war nach 70-75s erneut eine Reaktion auszulösen. Bei 4 Tieren war die Reaktion 40-45s nach Betäubungsbeginn negativ, später (70-75s) reagierten sie jedoch positiv auf das Trauma. In Untersuchung U4 an Betrieb 1 (N=72) wurde bei 32 Tieren 40-45s nach Betäubungsbeginn eine Reaktion an der Rüsselscheibe festgestellt, 17 dieser Tiere waren auch nach 70-75s „RS pos.“.

Diese Ergebnisse werden als Effekt der fortschreitenden Erholung einerseits (Tiere, die nur nach 70-75s nach Betäubungsbeginn „RS pos.“ waren, und Tiere, die sowohl nach 40-45s als auch nach 70-75s positiv waren) und des gegenläufigen Effektes zunehmender cerebraler Hypoxie infolge Herzkammerflimmerns und Entblutung (Tiere, die nach 40-45s „RS pos.“ und später negativ waren) interpretiert.

In Untersuchung U4 lag sowohl der absolute Anteil der „RS pos.“ Tiere (44,4% (N=72) gegenüber 26% (N=100) in Untersuchung U3) als auch der Anteil der Schweine, die nach 70-75s immer noch „RS pos.“ waren (17 von 32 gegenüber 10 von 22 (Untersuchung U3)) wesentlich höher.

Fehlendes Kammerflimmern infolge höherer Flimmerschwelle und der Effekt verkürzter Anfallsdauer nach Durchströmung mit 300Hz Rechteck-Wechselstrom könnten als Erklärung für den hohen Prozentsatz „RS positiver“ Tiere zu den Zeitpunkten 40-45s und 70-75s nach Betäubungsbeginn bei der Untersuchung U4 gegenüber der anderen Untersuchungen an Betrieb 1 dienen. Hierfür sprechen auch die für Kammerflimmern untypischen ausgeprägten Exzitationen nach Ende der Durchströmung bei der Verwendung der 300Hz-Anlage, die auch das Stechen behinderten.

Eine erhaltene Herztätigkeit und ein verkürzter generalisierter cerebraler Anfall (GCA) infolge hoher Wechselstromfrequenz allein würde jedoch die Differenz zu den Un-

tersuchungen an den Betrieben 8 und 2, bei denen ebenfalls 425Hz-Wechselstrom verwandt und später gestochen wurde, nicht erklären. Bezieht man allerdings den Umstand mit ein, daß durch die erschwerten Bedingungen beim Stechen infolge starker Exzitationen möglicherweise nicht immer eine ausreichende Eröffnung der Gefäße erreicht wurde, so wäre der höhere Anteil sich erholender Tiere erklärlich.

Die Ergebnisse an Betrieb 1 (U4) nach Betäubung mit 300Hz-Rechteck-Wechselstrom werden zusammenfassend so interpretiert, daß infolge der höheren Frequenz bei einem (größeren) Teil der Tiere kein Kammerflimmern ausgelöst wurde, und infolge der daraus resultierenden stärkeren Exzitationen möglicherweise nicht immer exakt gestochen wurde. Hinzu kommt ein mutmaßlicher Effekt verkürzter GCA-Dauer. Trotz des relativ frühen Stechens (13-15s nach Betäubungsbeginn) bestand daher bei einem größeren Teil der Tiere eine ausreichende Sauerstoffversorgung für eine fortgeschrittene Erholung zum Zeitpunkt des Tests (40-45s nach Betäubungsbeginn).

---

Der Anteil der Tiere, die eine Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe zeigten, war nach Betäubung mit frequenzmoduliertem Strom innerhalb der ersten 500ms von 10KHz auf eine Basisfrequenz von 100Hz bei der Kopf- und auf 80Hz bei der Herzdurchströmung am geringsten.

Bei Verwendung von 50Hz sinusförmigem Wechselstrom wurde eine Streuung der Ergebnisse (im Mittel 19,3% (10%-28,3%)) festgestellt, die wahrscheinlich in Beziehung zu Stromstärke und Stromflußdauer bei der Herzdurchströmung stehen.

Die Untersuchungen, die nach Hirn-Herz-Durchströmung unter Verwendung von Frequenzen zwischen 300Hz und 500Hz durchgeführt wurden, ergaben wesentlich höhere Anteile „RS pos.“ Tiere. Bei Betrieb 1 (U4) mit einer Stun-stick-time von 13-15s würde die Kombination fehlenden Kammerflimmerns infolge angehobener Flimmerschwelle des Herzens bei steigender Frequenz, eine verkürzte Dauer des GCA und unvollständige Gefäßeröffnung beim Stechen (infolge der Behinderung durch die Exzitationen auf der Liegendentblutung) die Einordnung der Ergebnisse zwischen 425Hz-Kopfdurchströmung (Betrieb 2 u. 8) mit frühem Stechen und Hirn-Herz-“Hochfrequenz“ mit spätem Stechen erklären. Bei einer Stun-stick-time über 30s (Betrieb 12 (U1 u. U2) lag der Anteil „RS positiver“ Tiere noch über den Ergebnissen nach alleiniger Kopfdurchströmung mit AC\_50Hz\_Sinus und Stun-stick-time über 30s. Dies wird auf fehlendes Kammerflimmern infolge angehobener Flimmerschwelle des Herzens bei Frequenzen über 100Hz und einen Effekt verkürzter Dauer des generalisierten cerebralen Anfalles zurückgeführt.

---

### 4.2.3 Die Reaktion an der Rüsselscheibe und Reflexe am Auge

Insgesamt wurde bei 1.266 Tieren an sieben Betrieben (elf Untersuchungen) sowohl die Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe als auch das Vorliegen von Reflexen am Auge (Lid- oder Cornealreflex) überprüft (Tab. 28, s.S. 114).

In Betrieb 1 (Hirn-Herz-Durchströmung) Untersuchung U1 (N=120) reagierten 34 Tiere auf das Trauma an der Rüsselscheibe („RS pos.“). Vier von den fünf Tieren mit vorhandenen Reflexen am Auge waren gleichzeitig „RS pos.“. Typische Anzeichen von fehlender Betäubungswirkung nach Durchströmungsende (Lautäußerungen, regelmäßige Atmung, gerichtete Augenbewegungen, Aufrichten des Kopfes, Aufstehversuche) fehlten bei allen untersuchten Tieren. Dies läßt auf eine effektive Betäubung durch die Kopfdurchströmung im Sinne der Auslösung eines generalisierten

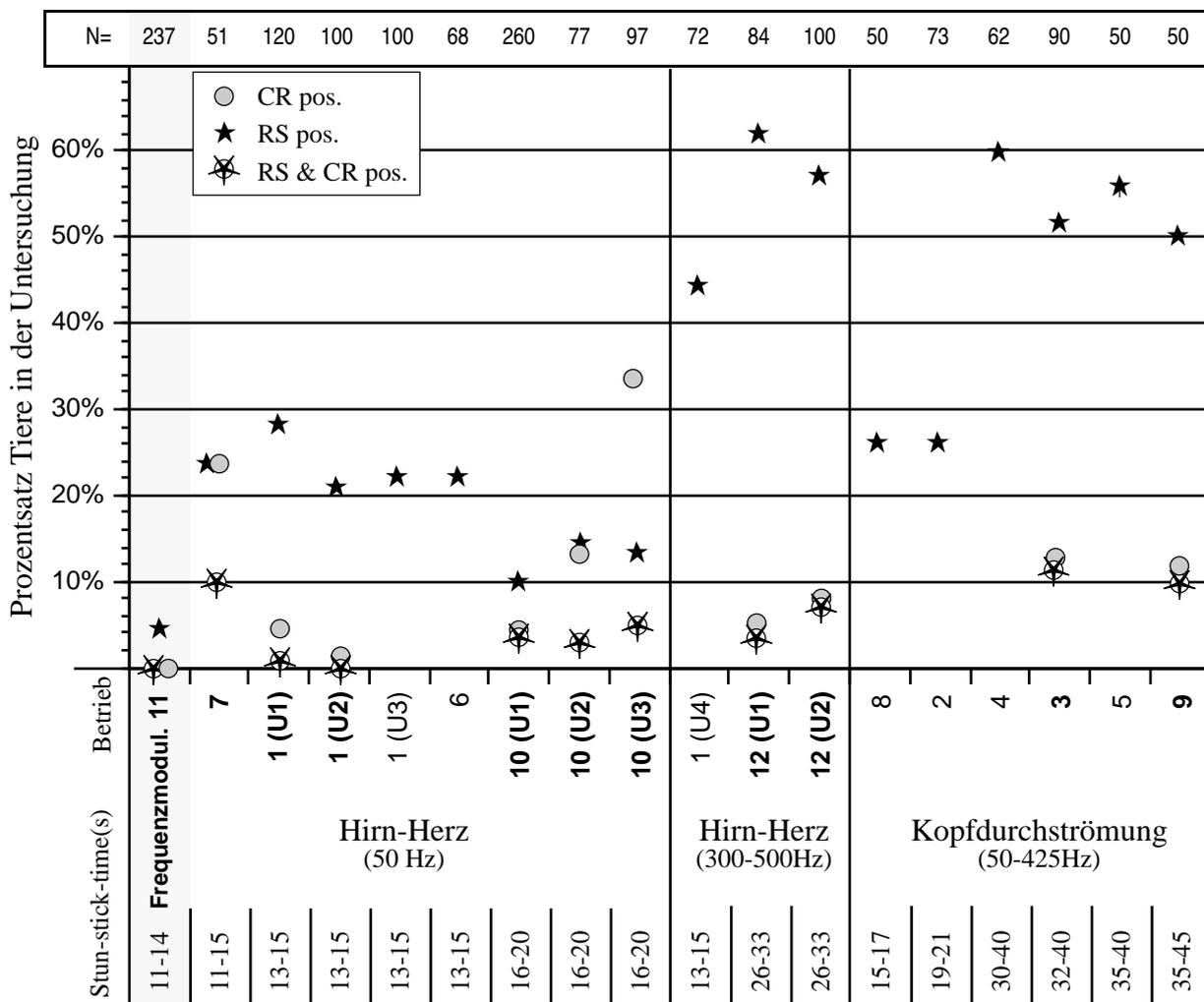


Abb. 12: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Reflexprüfungen am Auge (CR pos.) bei 1.266 Tieren in 7 Betrieben (11 Untersuchungen; **fett**) und der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe (RS pos.) bei 1.741 Tieren in 12 Betrieben (18 Untersuchungen), gruppiert nach Betäubungssystem (Hirn-Herz, Hirn-Herz-Hochfrequenz, Kopfdurchströmung) und sortiert nach dem Zeitpunkt des Stechens nach Betäubungsbeginn (Stun-stück-time). Betrieb 11 mit frequenzmoduliertem Betäubungsstrom innerhalb 500ms von 10 KHz auf 100 Hz Basisfrequenz bei der Kopfdurchströmung und 10 KHz auf 80 Hz Basisfrequenz bei der Herzdurchströmung weist den kleinsten Anteil „RS pos.“ und „CR pos.“ Tiere nach der Betäubung auf (RS pos.: 4,6% ; CR pos.: 0,0% (N=237)).

cerebralen Anfalles bei den untersuchten Tieren schließen. Eine EDV-gestützte Auswertung der Betäubungsströme ergab bei elf Tieren (9%) im Sinne der EDV fehlerhafte Kopfdurchströmungen (1,3A nicht innerhalb 1s erreicht oder nicht für mind. 3s gehalten) von denen drei „RS pos.“ eingestuft wurden. Keines der laut EDV „fehlbetäubten“ Tiere wies Reflexe am Auge auf.

Die Befunde an den Betrieben (1, 3, 9, 7, 11 und 12), an denen sowohl die Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe als auch die Reflektorik am Auge überprüft wurden (Tab. 28, s.S. 114), sind in Abb. 12 (S. 129) graphisch dargestellt.

Die Befunde für das Betäubungssystem Hirn-Herz-Durchströmung reichten von 0% (Betrieb 11) bis 34% „CR positiven“ Tiere an Betrieb 10 (U3). Ein gleichzeitiges Auftreten von Reflexen am Auge und der Reaktion an der Rüsselscheibe (CR & RS pos.) wurde bei Hirn-Herz-Durchströmung bei zwischen 0% (Betrieb 11) und 9,8% (Betrieb 7) der Tiere festgestellt. Im Mittel waren bei den sieben Untersuchungen 11,4% „CR pos.“ und 3,2% „CR & RS pos.“.

Nach Hirn-Herz-Durchströmung an Betrieb 12 mit Frequenzen zwischen 425Hz und 500Hz (Hirn-Herz (300-500Hz) in Abb. 12) wurde bei 4,8% (N=84) resp. 8,0% (N=100) der Tiere eine Reflektorik am Auge registriert, sowohl auf den Test an der Rüsselscheibe als auch am Auge (Cr & RS pos.) reagierten 3,6% bzw. 7,0%.

Nur an den Betrieben 3 und 9 mit alleiniger Kopfdurchströmung waren die Augen aller Tiere für die Erfassung der Reflexe zugänglich. An den Betrieben wiesen 13,3% (Betrieb 3 (N=90)) und 12,0% (Betrieb 9 (N=50)) der Tiere Reflexe am Auge auf, bei 12,2% resp. 10,0% der Schweine waren beide Prüfungen positiv (CR & RS pos.).

Nach ROOS U. KOOPMANS (1936) besteht der Reflexbogen für den Lidreflex aus dem *N. ophthalmicus* > *Gangl. gasserianus* > *Metencephalon* > *Myelencephalon* > *Nucl. facialis* > *N. facialis*. Der Reflexbogen ist demzufolge verhältnismäßig einfach (ROOS U. KOOPMANS (1936)). Demgegenüber ist die Reizreaktionskette bei der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe komplexer, weil mehr Nerven und Gehirnteile miteinbezogen sind (ANIL (1995); pers. Mitteilung).

Bei seinen Studien zu der Wiederkehr verschiedener Reflexe und Reaktionen mit AC\_50Hz\_Sinus mit 100-300V und 3-7s Durchströmungsdauer stellte ANIL (1991) im Mittel (N=115) 49s ±2,3 (24-87s) nach Betäubungsbeginn Cornealreflexe und 56s ±2,7 (27-96s) nach Betäubungsbeginn eine Reaktion auf das Stechen in die Rüsselscheibe mit einer Nadel fest.

Allerdings ist die Traumatisierung an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand durch das Kneifen mit der modifizierten Zange größer, und es sind mehr Zellen direkt von dem Trauma betroffen als bei dem Nadelstich. Trotzdem war es überraschend, daß der Anteil Tiere mit bereits wiederkehrender Reflektorik am Auge (Lid- oder Cornealreflex) nahezu immer unter dem Anteil der Tiere mit einer Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe lag (Tab. 28, s.S. 114). Eine diesbezügliche Ausnahme macht das Ergebnis der Untersuchung 3 an Betrieb 10, bei der mehr als doppelt so viele Tiere Reflexe am Auge zeigten (33 CR pos. gegenüber 13 RS pos. (N=97)), die allerdings nur in fünf Fällen mit einer positiven Reaktion an der Rüsselscheibe zusammenfielen.

Die Beurteilung der Reaktion am Auge kann durch direkte Stromwirkung beeinträchtigt worden sein, so daß eine „falsch negative“ Bewertung am Auge nicht ausgeschlossen werden kann (ROOS U. KOOPMANS (1936)). Dies könnte eine Erklärung für die generell niedrigeren Anteile „CR positiver“ Tiere sein. Insbesondere an Betrieb 12 war durch das Umsetzen der Handzange für die Herzdurchströmung in die Position Stirn zu Brustwand eine direkte Beeinflussung der Reflexe am Auge nicht auszuschließen. An Betrieb 10 waren demgegenüber bei der Untersuchung U3 im wesentlichen die Parameter der Herzdurchströmung geändert worden, während die Betäubungsdurchführung (Elektrodenansatz etc.) gleich blieb. Die gewählte Spannung am Kopf (AC\_300V\_50Hz) war bei allen Untersuchungen unverändert und die Dauer der Hirndurchströmung lag in Betrieb 10 (U3) bei 4s gegenüber 6s (U1) und 3s (U2).

Insgesamt erscheint anhand der eigenen Untersuchungen die Korrespondenz zwischen der Höhe des Anteils „RS pos.“, „CR pos.“ und „CR & RS pos.“ Tiere sehr gering. Der Corneal- oder der Lidreflex treten offenbar nicht zwangsläufig vor oder gleichzeitig mit der Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe ein. Bei gleichzeitigem Auftreten beider Reaktionen (CR & RS pos.) ist die Erholung des Gehirnes möglicherweise weiter fortgeschritten (d.h. eine größere Anzahl von Zellen ist bereits reaktionsfähig) als bei Auftreten der Reaktion am Auge allein.

---

Die untersuchten Reaktionen scheinen unabhängig voneinander aufzutreten, wenn sich die an der jeweiligen Reizweiterleitung beteiligten Zellen erholt haben. Eine schrittweise Erholung verschiedener Gehirnareale mit einer hierarchisch interpretierbaren Wiederkehr der Reflektorik wie bei den Narkosestadien (chemische Narkose) war bei der Elektrobetäubung im Rahmen der Schlachtung bei den eigenen Untersuchungen nicht festzustellen.

---

#### **4.2.4 Bewertung der Betäubungstiefe bei Narkoseüberwachung und Elektrobetäubung**

Im Zusammenhang mit der elektrischen Betäubung wird das Auftreten von Reflexen bzw. deren Überprüfung zur Einschätzung der Betäubungseffizienz oder Betäubungstiefe kontrovers diskutiert. Durch den generalisierten cerebralen Anfall (GCA) (und direkte Stromwirkung in der Nähe der Hautkontakte mit den Elektroden am Kopf) ist die Reaktionslage des Organismus in einer Weise gestört, die eine Überwachung und Beurteilung der Betäubung nach dem herkömmlichen Schema für Narkosen (Guedel'sches Schema mit Narkosestadien I-IV) unmöglich macht (WARRINGTON (1974), HOENDERKEN (1978), MOSFELD LAURSEN (1982), GREGORY (1985), BLACKMORE U. DELANY (1988), WOTTON (1995)). Dennoch wurden verschiedene Reflexe (Lid-, Corneal-, Pupillarreflex) und Reaktionsprüfungen (Schnitt in die Haut an der Schläfe, Schneiden oder Kneifen in den Zwischenklauenspalt, Stechen in die Rüsselscheibe), die teilweise bei der Narkoseüberwachung zum Einsatz kommen, bei Untersuchungen zur Einschätzung der Betäubungseffizienz und -dauer verwendet (Kap. 2.5 ff. (s.S. 57)).

Der Narkoseüberwachung liegt ein pharmakodynamisches Modell zugrunde, dementsprechend bestimmte funktionelle Gehirnareale (bspw. die Großhirnrinde) eine höhere Empfindlichkeit als andere (bspw. Stammhirn) aufweisen und bei der Narkoseeinleitung mit zunehmender Konzentration gewissermaßen nacheinander der Wirkung des Narkotikums unterliegen. Nach LÖSCHER (1994) sind die vier Narkosestadien (und die vier Unterstadien des Toleranzstadiums) jeweils Wirkorten (sensorischer und motorischer Cortex, Mittelhirn, Rückenmark, Medulla oblongata) zugeordnet, und Lid-, Corneal-, Schluck- und Hustenreflexprüfungen sowie Befunde zu Skelettmuskeltonus, Schleimhaut, Puls und Atmung dienen der Zuordnung der Narkosetiefe zu einem Wirkort und Narkosestadium. Die Narkosestadien und die entsprechenden Reaktionsprüfungen dienen im wesentlichen der Überwachung der Narkoseeinleitung resp. Erhaltung des Toleranzstadiums und basieren auf dem pharmakodynamischen Modell für die Verteilung und Wirkung des jeweiligen Narkotikums (BOOTH (1982), BÜCH U. BÜCH (1987), LÖSCHER (1994)).

Im Falle der Elektrobetäubung wird anhand der elektroencephalographischen Befunde von einer ausreichenden Betäubung bei dem Vorliegen eines GCA mit tonisch-klonischer Symptomatik ausgegangen, und für die Dauer der hypersynchronen Erregungsbildung ist eine Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit als sicher anzunehmen (T1 in Abb. 1, s.S. 21). Die elektrisch induzierte paroxysmale Funktionsstörung generalisiert innerhalb von Sekundenbruchteilen infolge direkter und indirekter Stromwirkung (Kap. 2.3.4 ff. (s.S. 15)).

Von dem über die Hypersynchronie hinaus andauernden Betäubungseffekt (T1 bis T2 in Abb. 1, S. 21) wird angenommen, daß er auf der Erschöpfung der Nervenzellen durch die energieaufwendige Aktivität einerseits und auf einer Hemmung der Erregungsweiterleitung durch Inhibitoren (GABA und Glycin (COOK ET AL. (1992, 1995), COOK (1993))) andererseits beruht.

Es gibt keinen Anhaltspunkt dafür, daß die Erholung des Gehirnes von dem energieaufwendigen GCA wie bei der Narkose einem festen Ablauf in Stadien folgt, die der schrittweisen Erholung einzelner Gehirnareale zugeordnet werden können. LOPES DA SILVA (1982) vermutete einen gewissermaßen hierarchischen Ablauf des elektrisch induzierten Anfalles anhand der verschiedenen EEG-Frequenzanteile, die er auf die Hierarchieebenen des Gehirnes projizierte. Dies bezog sich jedoch nicht auf die Erholung sondern auf die Frequenzveränderungen in der hypersynchronen Phase zu Beginn des Anfalles. Auch FREESEMAN (1975), HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1982) und LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982) fanden entsprechende Verschiebungen bei der Analyse der Frequenzanteile im EEG.

Die Frequenzabnahme resp. die Verschiebung der Frequenzanteile der Ableitung im Verlauf des GCA könnte theoretisch jedoch ebenso auf der zunehmenden Anzahl von Nerven, die infolge der Generalisierung in die synchrone Erregungsbildung miteinbezogen sind, basieren, ohne den angesprochenen hierarchischen Bezug. Auch die Mehr-Kanal-Aufzeichnungen von EEG-Ableitungen an der *Dura mater* (Aufzeichnungszeitraum: 5-120s nach Betäubungsbeginn (AC\_300V)) bei HOENDERKEN (1978) lassen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Ableitungen erkennen, die auf eine schrittweise Einbeziehung verschiedener Gehirnteile während der generalisierten Hypersynchronie oder der Erholung hinweisen. Die Aufzeichnungen dokumentieren synchrone Ableitungen am Großhirn über den gesamten Zeitraum der Hypersynchronie. Nachweise für die schrittweise Einbeziehung verschiedener Gehirnteile oder deren schrittweise Erholung durch entsprechende intracerebrale multipolare Ableitungen finden sich nicht in der Literatur.

Vor dem Hintergrund der eigenen Untersuchungen erscheint ein Modell mit dezentralem Charakter für die Erholung von der Elektrobetäubung plausibel. Die Nervenzellen befinden sich abhängig von dem zeitlichen Zurückliegen der letzten anfallsbedingten Depolarisation und bestehender Blutversorgung in unterschiedlichen Stadien der Repolarisation unabhängig von ihrer anatomischen Zuordnung zu Gehirnarealen. Physiologische Aufgaben werden von einzelnen Gehirnteilen dann wieder

übernommen, wenn eine ausreichende Zahl von Nervenzellen infolge ausreichender Energie- und Sauerstoffversorgung (und mangelnder Hemmung durch Inhibitoren) wieder zur Reizweitergabe und Koordination in der Lage ist.

Einfaches reflektorisches Verhalten (wie Corneal-, Schluck-, Husten-, Pupillar- oder Lidreflex) bedarf nur einer geringen Anzahl intakter Nervenzellen, und tritt deshalb tendenziell schneller als komplexe Bewegungsabläufe gekoppelt an Sinneswahrnehmungen wieder ein (bspw. gerichtete Augenbewegungen oder Aufstehversuche). Da aber nicht alle Nerven zu einem definierten Zeitpunkt mit der Repolarisation beginnen, gibt es keine zwangsläufige Regelmäßigkeit oder Hierarchie bei der Reflexprüfung, und der Cornealreflex bspw. kann im Verlauf der Erholung ebenso vor oder nach dem Lidreflex positiv werden.

Reflex- oder Reaktionsprüfungen wären demnach weniger ein qualitatives Merkmal (hierarchischer Ablauf der Erholung verschiedener Gehirnareale mit parallel zunehmender Bewußtwerdung/Empfindung/Wahrnehmung) als vielmehr ein Indiz für die quantitative Zunahme repolarisierter Zellen, einhergehend mit einer steigenden Anzahl reaktionsfähiger Bereiche im Gehirn und demzufolge mit zunehmender Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Erholung.

Einschränkend für die Reflexprüfungen am Kopf muß beachtet werden, daß diese nach ROOS U. KOOPMANS (1936) bei erhaltenem Sensorium „falsch negativ“ ausfallen können, wenn es zu einer direkten Stromwirkung des elektrischen Feldes, das sich um den Elektrodenkontakt herum aufbaut, auf den Rezeptor oder Effektor des Reflexes kommt.

Das angesprochene Modell für die dezentrale Erholung des Gehirnes von den elektrisch ausgelösten paroxysmalen Funktionsstörungen beim GCA böte sich als Erklärung für die Unregelmäßigkeit der Befunde nach der elektrischen Durchströmung an, die bei der Betäubungsüberwachung immer wieder festgestellt worden sind.

In einzelnen Fällen war bei eigenen Untersuchungen (nicht im Rahmen der dokumentierten Untersuchungen) beispielsweise regelmäßige Atmung festzustellen, obwohl keine anderen Reaktionen am Auge oder der Rüsselscheibe auszulösen waren. Auch wurde das Wiedereintreten regelmäßiger Atmung bei Tieren mit und ohne vorausgehende Schnappatmung beobachtet. Das Atemzentrum liegt in der *Substantia reticularis* des Stammhirnes und ist anatomisch in funktionale Unterzentren aufgegliedert, die

(von caudal nach cranial) die Schnappatmung (*Medulla spinalis*), die Inspiration und Expiration (zwei Zentren in der *Medulla oblongata*) sowie die Koordination der fließenden Übergänge zwischen In- und Expiration (pneumotaktische Koordination in der *Pons*) übernehmen (REIN U. SCHNEIDER (1960)). Anatomisch sind die sensiblen Kerne des Trigemini, die wahrscheinlich an der Reizüberleitung bei dem Trauma an Rüsselscheibe beteiligt sind, dem dorsalen Halsmark zugeordnet und liegen anatomisch somit caudal des Atmungszentrums.

Bei den eigenen Untersuchungen war keine Regelmäßigkeit bei der Feststellung einzelner Reflexe festzustellen. Es konnte eine Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe festgestellt werden, obwohl kein Lidreflex vorlag und obwohl die Reaktion an der Rüsselscheibe aufgrund der miteinbezogenen Nervenstrukturen als komplex gegenüber dem Reflexbogen beim Lidreflex anzusehen ist.

Die Erklärung für die angesprochenen Phänomene wäre, legte man das angesprochene Modell zugrunde, daß bspw. am Reflexbogen für den Lidreflex beteiligte Zellen in einigen Fällen länger in die Anfalls-Aktivität miteinbezogen waren als das Atemzentrum oder die an der Überleitung für die Reaktion an der Rüsselscheibe beteiligten Nervenbahnen, und deshalb noch nicht wieder erregbar waren. Regelmäßige Atmung setzt „schlagartig“ ein, oder ihr gehen einzelne schnappende inspiratorische oder expiratorische Bewegungen voraus, je nachdem welche Stammhirnbereiche länger an den Konvulsionen beteiligt waren.

#### **4.2.5 Einordnung der Bedeutung der Reaktion auf ein Trauma an der Rüsselscheibe in Bezug auf den Verlauf des generalisierten cerebralen Anfalls und die Bewertung der Effektivität der elektrischen Betäubung**

Bei einer effektiven Betäubung ist mit einer Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe während der ersten hypersynchronen Phase des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) (hohe Amplitude im EEG; s. a. Abb. 1 (S. 21): Zeitraum bis T1) nicht zu rechnen. Nach den Untersuchungen zur Dauer der GCA beim Schwein (Tab. 5 (S. 28)) dauert diese Phase mindestens 32s (HOENDERKEN (1978)) resp. 17s (SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983)) an. Die Untersuchung an 243 Tieren 8-9s nach Betäubungsbeginn (Kap. 3.4.3, s.S. 77) ergab erwartungsgemäß nur bei Tieren, die auch weitere Anzeichen fehlender Betäubungswirkung resp. des Ausbleibens des GCA zeigten (regelmäßige Atmung, gerichtete Augenbewegungen), positive Reaktionen.

Im Anschluß an die erste hypersynchrone Phase (T1 in Abb. 1, S. 21) beginnt ein Zustand mit sehr geringer Gehirnaktivität, eine Art „Ruhephase“, während der mit dem EEG oder ECoG kaum darstellbare Potentialunterschiede aufgezeichnet werden (T1 bis T2 in Abb. 1, S. 21). HOENDERKEN (1978) bezeichnete diese Phase als Erschöpfungsphase. An diese Phase anschließend kann bei Gehirnstrommessungen von Tieren, die nicht gestorben sind, das Wiedereinsetzen von Gehirnaktivität gemessen werden (T2 in Abb. 1). COOK ET AL. (1992, 1995) und Cook (1993) bezeichneten die Tiere als „sensible“, die Schmerzwahrnehmung sei jedoch noch gestört. In der Ruhe- oder Erschöpfungsphase ist die energieaufwendige Hypersynchronie durch an den Synapsen erregungshemmend wirkende Neurotransmitter und den entstandenen Energiemangel in den Nervenzellen eingedämmt, und die Nervenzellmembranen repolarisieren (MÜLLER (1970), COOK ET AL. (1992, 1995), Cook (1993), SPECKMANN U. STRAUB (1993)). Sie geht bei ausreichender Blutversorgung fließend in ein Erholungsstadium über (HOENDERKEN (1978)). Evozierte Potentiale sind in diesem Erschöpfungs-/Erholungsstadium nachweisbar und wurden als Zeichen wiederkehrender Reaktionsfähigkeit einzelner Gehirnbereiche eingeordnet (WARRIS U. WOTTON (1981), GREGORY U. WOTTON (1983, 1986, 1989), ANIL ET AL. (1995a)). Das EEG glich sich zunehmend dem von wachen, empfindungs- und wahrnehmungsfähigen Tieren an (HOENDERKEN (1978)).

Bei frühzeitiger Unterbindung der cerebralen Sauerstoffversorgung durch starken Blutverlust oder infolge Kammerflimmerns ist die erste Phase des GCA (Hypersynchronie und Amplitudenverstärkung im EEG) verkürzt, und die Erschöpfungsphase beginnt früher (Tab. 1-5 (s.S. 24 ff.)). Mangels Sauerstoffversorgung ist eine Erho-

lung nur bedingt möglich, und die Wiederherstellung von Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit dauerhaft unterbunden. (Die Ergebnisse von GREGORY U. WOTTON (1984b) belegen, daß das frühe Entbluten mit Eröffnung beider Carotiden 10s nach Betäubungsbeginn dem Head-to-back-stunning mit Herzkammerflimmern bei Schafen insofern überlegen ist, als der Anfall hierbei am kürzesten war und eine isoelektrische Ableitung früher eintrat (Tab. 3, s.S. 26)). Verschiedene Autoren hoben den Einfluß effektiven und frühzeitigen Stechens nach der Betäubung auf die Tierschutzgerechtigkeit der elektrischen Betäubung mit alleiniger Kopfdurchströmung hervor (BLACKMORE U. NEWHOOK (1982a), HOENDERKEN (1978), GREGORY (1985), WOTTON (1995)).

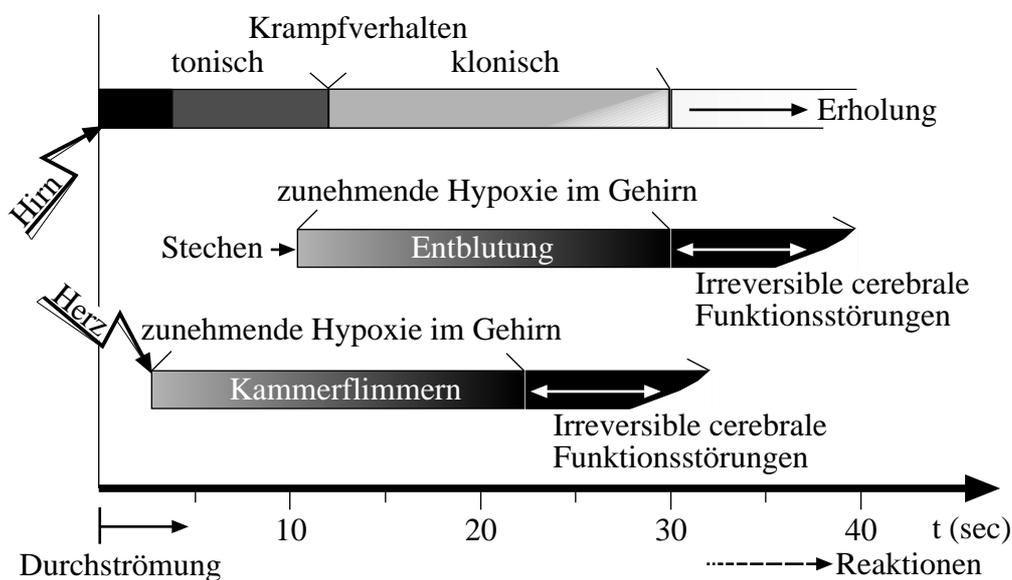


Abb. 13: Zusammenfassende schematische Darstellung der Literaturangaben zur Dauer des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) beim Schwein ab Beginn der Kopfdurchströmung mit 50Hz sinusförmigen Wechselströmen („Hirn“: oberer Balken), zur Wirkung der Entblutung (mittlerer Balken) und asynchroner Hirn-Herz-Durchströmung („Herz“: unterer Balken). Nach rund 30s (HOENDERKEN (1978): 32s, SCHÜTT-ABRAHAM ET AL. (1983): 17s) beginnt eine Erholung der Tiere, die zu Wiederkehr von Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit führen kann, wenn es nicht zu Gehirnschädigung durch hypoxische Zustände infolge der Entblutung oder des Kammerflimmerns kommt.

ANIL (1991) und ANIL U. MCKINSTRY (1992) fanden als erste sicher zu interpretierende Symptome für ein Nachlassen der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit das Wiedereinsetzen regelmäßiger Atmung, einen vorhandenen Cornealreflex (häufig nicht sicher auswertbar) und eine Reaktion auf das Stechen einer Nadel in die Rüsselscheibe. Die Wiederkehr der regelmäßigen Atmung werteten sie als Kennzeichen zurückgekehrter Funktion des Stammhirnes. Eine feste Reihenfolge der Reaktionen konnte bei den eigenen Untersuchungen nicht festgestellt werden, und die Wiederkehr von regelmäßiger Atmung (nicht dokumentiert) trat ebenfalls nur selten und wenn dann nach der Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe auf.

Für die in dieser Untersuchung getestete Reaktion an der Rüsselscheibe muß eine intakte Überleitung von der sensiblen Versorgung der Rüsselscheibe und/oder des Nasenseptums (*Nn. nasalis* und/oder *N. vomeronasalis*) über den *N. trigeminus* bis zu den *Rami dorsales* des ersten Halsnerven, die die Bewegung von Kopf und Hals innervieren, bestehen. Zumindest Teile des Stamm- und Kleinhirnes müssen sich soweit erholt haben, daß sie die Reizweiterleitung übernehmen können, wenn die Reaktion positiv ausfällt (ANIL (1995c), persönl. Mitteilung).

Positive Reaktionen auf das Trauma an der Rüsselscheibe können als Ausdruck ausreichender Sauerstoffversorgung für die Einleitung des Erholungsstadiums und dessen Fortschreiten verstanden werden. Die Reaktionsprüfung ist nach Auffassung des Untersuchers im Sinne des in Kap. 4.2.4 (S. 132) dargestellten Modells der dezentralen Erholung von dem GCA ein (quantitatives) Merkmal für eine zunehmende Anzahl reaktionsfähiger Nervenzellen und Bereiche im Gehirn mit zunehmender Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Erholung.

Intention der Tierschutzgesetzgebung ist es, durch das Betäubungsgebot bei der Schlachtung (§4a Tierschutz-Gesetz) Schmerzen und Leiden zu verhüten. Nach SCHMIDTKE (1951) ist „Schmerz eine bewußte Gefühlsempfindung“, d.h. ein psychisch-physischer Vorgang. Das Tier kann die subjektive, psychische Empfindung nicht artikulieren, der Mensch kann diese nur anhand physiologischer Zustandsänderungen ableiten. Reflex- und Reaktionsprüfungen sind im Fall der Elektrobetäubung mit der ihr zugrundeliegenden starken Beeinflussung der Gehirntätigkeit und der damit zusammenhängenden eingeschränkten Ausdrucksmöglichkeit ein schwaches Indiz für die Wahrnehmung und Empfindung eines Tieres. Andererseits ist nur das völlig reaktionslose Tier bei der Schlachtung „ohne jeden Zweifel“ wahrnehmungslos.

Ob es sich bei der Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe bereits in jedem Fall um eine wahrnehmungsgekoppelte, bewußte Reaktion handelte, und ob die Tiere Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit bereits wiedererlangt hatten, kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht abschließend geklärt werden. Auch die Untersuchungen mittels EEG und ECoG lassen nur bedingt Rückschlüsse auf die bewußte Wahrnehmung bei Tieren zu (s. Kap. 2.3.4.3 (s.S. 17)). Letztlich läßt sich mit allen Verfahren nur die Abweichung von einem vorher definierten „normalen Zustand“ dokumentieren, und ein Grad der Abweichung wird als Ergebnis einem Befund zugeordnet.

Vor dem Hintergrund der Abläufe bei der Elektrobetäubung sollte dennoch versucht werden, den Anteil der Tiere, die auf ein Trauma an der Rüsselscheibe reagieren, durch entsprechende Betäubungs- und Entblutetechnik gegen Null zu bringen.

## **4.3 Weitere Ergebnisse**

### **4.3.1 EDV-gestützte Stromstärkemessung während der Betäubung**

Die Untersuchungen an Betrieb 1 sollten insbesondere der Überprüfung der Eignung des Tests auf eine Reaktion infolge eines Traumas an der Rüsselscheibe für die Überprüfung der Betäubungswirkung dienen. In drei Untersuchungen (U1-U3) wurden verschiedene in Kap. 2.4 (S. 38) angesprochene Verfahren zur Bewertung und Überprüfung der Elektrobetäubung miteinander und mit der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe kombiniert und verglichen. Die Ergebnisse der Erhebung verschiedener Reaktionen und Reflexe nach der Betäubung wurden in 4.2.2 und 4.2.3 diskutiert.

Wesentlich für die Betäubungseinleitung im Sinne der Auslösung eines elektrisch induzierten, generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) ist ein auf das Gehirn einwirkender Stromfluß für eine ausreichende Zeitdauer mit ausreichender Stromstärke (HOENDERKEN (1978)). In der Praxis sollen eine maximale Anstiegsdauer von einer Sekunde auf mind. 1,3A und 4 Sekunden Stromflußdauer bei der Kopfdurchströmung eine effektive Betäubung sicherstellen, und die Betriebe sollen die Stromstärke während der Betäubung aufzeichnen (Entwurf der TierSchlV, Teil II [3.2] Anl.3 zu §13(6)).

Die Betäubungsstromstärke wurde bei 490 Betäubungsvorgängen im Verlauf des Schlachttages an Betrieb 1 mit einem EDV-gestützten Meßgerät („T-96“ (Fa. Conrad Electronic)) mit einer Abtastrate von 4 Werten/s aufgezeichnet und mittels EDV ausgewertet. In 92 Fällen (18,7%) wurden die gesetzlichen Vorgaben nicht erfüllt („Fehlbetäubungen“) und drei Betäubungsvorgänge wurden vor Ablauf der Mindestdauer unterbrochen („Doppelbetäubungen“).

#### **4.3.1.1 Aussagekraft der Überwachung der Betäubung mittels Aufzeichnung des Betäubungsstromes**

Die Aufzeichnung der Stromstärke während der Betäubung und die Bewertung von Stromverlaufskurven ermöglichen grundsätzlich folgende Aussagen:

- Befund 1: Eine vorgegebene Mindest-Stromstärke wurde nicht oder nicht schnell genug erreicht.
- Befund 2: Eine vorgegebene Mindest-Dauer der Durchströmung mit der vorgegebenen Mindeststromstärke wurde nicht erreicht.
- Befund 3: Der Betäubungsvorgang wird vor Ende einer vorgegebenen Mindest-Dauer unterbrochen.

Die ersten beiden Befunde geben nach der Ohm'schen Gleichung ( $U/R=I$ ) bei Festspannungsgeräten in erster Linie das Widerstandsverhalten zwischen den Elektroden wieder, d.h. sie erlauben, die Eignung der technischen Parameter des Betäubungsgerätes für eine tierschutzgerechte Elektrobetäubung einzuschätzen. Die Leistung der Generatoren in den Betäubungsgeräten schwankt bereits an unterschiedlichen technischen Festwiderständen, d.h. die „Nutzspannung“ sinkt meist unter Last (SWATLAND (1984), BOOSEN U. ROMING (1993)).

Befund 1 ist so zu bewerten, daß der Widerstand zwischen den Elektroden so hoch ist, daß die angelegte Spannung für einen ausreichenden Stromfluß nicht ausreicht. Den höchsten Widerstand stellt der Hautwiderstand dar. Bei verschmutzten oder korrodierten Elektroden entstehen höhere Widerstände, weil die leitfähige Elektrodenfläche sinkt. An der Haut entwickeln sich die Widerstandsverhältnisse und die Geschwindigkeit des Stromstärkeanstiegs in Abhängigkeit von der angelegten Spannung, der Frequenz, der Elektrodenform und der Überleitungsfläche (FREIBERGER (1934), BIEGELMEIER (1977, 1986), HOENDERKEN (1978), BROCK (1978), TROEGER U. WOLTERS DORF (1988a, 1989b)). Im Normalfall fällt der Widerstand nach Überwindung der Hautwiderstandes rasch ab. Haut- und Gesamtwiderstände variieren allerdings stark zwischen den einzelnen Individuen, d.h. bei gleichem Elektrodenzustand, Elektrodenansatz, Hautzustand (feucht/trocken/verschmutzt/sauber) und Betäubungsgenerator (HOENDERKEN (1978), WYSS (1985)).

Befund 2 dokumentiert im wesentlichen, ob der Widerstand zwischen den Elektroden während der Durchströmung (bspw. durch Verschmorungen) wieder ansteigt. Möglich ist auch, daß die angelegte Spannung im Verlauf der Betäubung aufgrund technischer Mängel der Betäubungsanlage sinkt (BOOSEN U. ROMING (1993)).

Lediglich Befund 3 läßt direkte Rückschlüsse auf eine fehlerhafte Durchführung zu, die auf unsachgemäßem Vorgehen des Betäubers infolge mangelhafter Kenntnisse zur Elektrobetäubung oder tierschutzrelevante Fehlhandlungen (bspw. Treiben in der Bucht mit der Zange (HOENDERKEN (1978), WYSS (1985))) basieren können. Hierbei ist auch die Art der Fixierung und eine eventuelle Behinderung der Elektrodenplatzierung durch die Fixation zu berücksichtigen (HOLLEBEN (1996)).

Außerdem kann es ohne Verschulden des Betäubers anlagebedingt zur Stromflußunterbrechung durch die Schutzwiderstandschaltung (Betriebssicherheit) kommen (HOENDERKEN (1978)). Die Schutzwiderstandschaltung kann ebenfalls zu tierschutzrelevanten Tatbeständen führen, wenn die Tiere beim Elektrodenansatz durch die

scharfen Elektrozacken verletzt werden und die Anlage den Stromfluß nicht auslöst. Diesbezüglich besteht dringender Bedarf an Innovationen zur Sicherstellung der Betriebssicherheit bei gleichzeitiger Wahrung der Tierschutzgerechtigkeit.

#### **4.3.1.2 Einordnung der Ergebnisse der Stromverlaufsmessungen an Betrieb 1**

Bei den 490 an Betrieb 1 aufgezeichneten Betäubungsvorgängen ergab eine Berechnung der Gesamtwiderstände einen Mittelwert von  $173\Omega \pm 25,6$  ( $37-470\Omega$ ) bezogen auf die maximale Stromstärke im Verlauf der Betäubungsvorgänge. Die Anfangswiderstände (innerhalb der ersten 0,8s des Stromflusses) lagen im Mittel bei  $307\Omega \pm 130$  ( $199-979\Omega$ ). Die starken Widerstandsschwankungen zwischen den Betäubungsvorgängen trugen wahrscheinlich zu dem hohen Anteil von 18,7% (N=490) „Fehlbetäubungen“ im Sinne der EDV (Befunde 1 und 2) bei. Die Elektroden an Betrieb 1 wurden regelmäßig von Korrosion und Schmutz gesäubert und die Haut am Elektrodenansatz mit einem Wasserstrahl aus Düsen an der Betäubungsgabel angefeuchtet.

Der Anteil der Doppeldurchströmungen (Befund 3) war mit 0,6% verhältnismäßig gering. Dies ist auch auf die pneumatische Elektrodengabel zurückzuführen, die für die Dauer der Stromflußzeit vom Betäuber nicht geöffnet werden kann.

Die möglichen Rückschlüsse von dem Anteil der „Fehlbetäubungen“ (Befund 1 u. 2) auf die Elektrodenplatzierung sind gering. Es kann jedoch zu höheren Widerständen kommen, wenn die Elektroden am Kopf schräg oder zu weit oben angedrückt werden. Dann stehen oft nur wenige der Elektrozacken mit der Haut in Verbindung. Die Überleitungsfläche ist infolgedessen geringer, der Widerstand unter der Elektrode steigt, und es kommt erst verzögert zur Überwindung des Hautwiderstandes. Durch hohen Widerstand ausgelöste Hitzeentstehung kann zu Verbrennungen und Verkohlungen mit einer Verringerung der Feuchtigkeit im Bereich der Überleitung zwischen Elektrode und Haut führen. Daraufhin steigt der Widerstand weiter an. Ein häufig problematischer Ansatz entsteht, wenn ein Ohr zwischen Elektroden und Kopfhaut eingeklemmt wird. Der Hautwiderstand muß dann nicht zweimal (einmal unter jeder Elektrode) sondern viermal überwunden werden, wenn der Strom nicht über die Ohrbasis abfließt. Elektrode und Ohr können auch leichter verrutschen, so daß der Hautwiderstand erneut überwunden werden muß (s. Kap. 2.4.2.2 (S. 42)). Die angesprochenen Ursachen für Widerstandserhöhungen können im Regelfall nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Betäubungsanlage sollte auch bei den unvermeidlichen Widerstandsschwankungen ausreichenden Stromfluß garantieren.

HOENDERKEN (1978) riet im Zusammenhang mit der großen Spannbreite festgestellter Widerstände zur Verwendung einer Mindestspannung (unter Last 220-250V) oder eines Konstantstromgerätes mit ausreichender Leistungsreserve. HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981, 1982) und LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982) arbeiteten bei der Festsetzung von Mindeststromstärken für die Elektrobetäubung von Schweinen, Kälbern und Schafen mit speziell entwickelten Konstantstromgeneratoren (Spannungsvariation in Abhängigkeit vom Widerstand, max. 400V), um dem Problem verschiedener oder sich verändernder Widerstände bei gleichen Elektrodenpositionen zu begegnen. WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989a, 1989b), WOLTERS DORF (1989) und KIRCHNER (1992) empfahlen ebenfalls die Verwendung von Betäubungsgeneratoren, um einen konstanten Stromfluß unabhängig vom Widerstand sicherzustellen.

Eine Sicherstellung der Stromstärke auf Höhe eines festgelegten Schwellenwertes kann erfolgen, indem entweder die Spannung zwischen den Elektroden in Relation zum Widerstand (nach-)geregelt wird, oder bei überschwelligen Stromstärken Strom aus dem Stromkreis über einen technischen Verbraucher eliminiert wird. Derartige Geräte wurden von HOENDERKEN (1978), LAMBOOIJ (1981, 1982) und LAMBOOIJ U. SPANJAARD (1982) verwandt. Für eine schnelle und exakte Spannungsnachregelung bedarf es einer relativ aufwendigen (und teuren) elektrischen Steuerungseinheit (VETTER, (Inhaber der Fa. Schermer) pers. Mitteilung (1994)).

Der sog. Phasenanschnitt in Kombination mit einem Konstantspannungsgenerator ist demgegenüber preisgünstiger. Die Methode basiert darauf, daß bei Erreichen eines Schwellenwertes im Verlauf der Sinushalbwellen die Stromzuführung „weggeschaltet“ und für den Rest der Sinus-Halbschwingung kein weiterer Strom auf die Elektroden übertragen wird. Ausgehend von einer 250V\_50Hz\_Sinus Spannungsquelle wird ein Phasenanschnitt mit einem Schwellenwert von 1,25A bereits bei Widerständen unter 200Ω ausgelöst und führt zu einer Impulsverkürzung. Bei einem Widerstand von 199Ω beträgt die Impulsdauer rechnerisch 5ms, bei 161Ω 3ms, bei 117Ω 2ms und bei unter 62Ω sinkt die Impulsdauer unter 1ms (BOOSEN, pers. Mitteilung (1995), BRIESE (1996a, 1996b)). Bei den eigenen Untersuchungen wurden derartig niedrige Widerstände durchaus festgestellt. Infolge sehr kurzer Impulse kommt es, so zeigt die Erfahrung mit phasenanschnittgesteuerten Geräten, zu mangelhafter Betäubung (keine Anfalls-Symptome, wiederkehrende Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit) trotz Kopfdurchströmung mit exaktem Elektrodenansatz und „ausreichender“ Stromstärke (BOOSEN, pers. Mitteilung (1995), BRIESE (1996a, 1996b)). Bei Hirn-Herz-Durchströmung

und Phasenanschnitt fehlen bei vielen Tieren Symptome ausgelösten Herzkammerflimmerns (BRIESE (1996a, 1996b)), wahrscheinlich aufgrund zu kurzer Impulse für dessen Auslösung (FERRIS ET AL. (1936), BIEGELMEIER (1976)). Ein anderes Verfahren, das demgegenüber Stromstärkeschwankungen nur dämpft und nicht völlig beseitigt, besteht im Einbau paralleler Widerstände oder Kondensatoren (Betrieb 1).

#### **4.3.1.3 Die Ergebnisse der EDV-Auswertung in Bezug auf den Schlachtverlauf**

Die Aufzeichnung und EDV-Auswertung der Stromstärken bei 490 Betäubungsvorgängen (Conrad T-96, Abtastrate 4Hz) erbrachte im Verlauf des Schlachttages bei dem gleichen Betäuber wechselnde Ergebnisse bezüglich der EDV-Bewertung des Stromverlaufes, d.h. des Anteils an „Fehlbetäubungen“ (Abb. 9, s.S. 78).

Der Anteil an Fehlbetäubungen stieg zwischen 11:40 und 12:00 Uhr stark an, (Abb. 9, s.S. 78) und gleichzeitig ist eine stärkere Schwankung der Anzahl von Betäubungsvorgängen je Fünf-Minuten-Intervall zu beobachten. Ein leichter Anstieg des Fehlbetäubungsanteils ist auch gegen Ende des Zeitraums der Videoaufzeichnung (10:35 Uhr - 11:00 Uhr) festzustellen, ohne daß eine größere Schwankung der Anzahl der Betäubungen je Fünf-Minuten-Intervall erkennbar wäre.

Durch die pneumatische Elektrodengabel in Betrieb 1 und den dadurch gewährleisteten einheitlichen Andruck während der Durchströmung sowie durch die automatische Anfeuchtung (Düsen an der Elektrodengabel) kommt als Hauptursache für unterschiedliche Stromübertragungen bei verschiedenen Betäubungsvorgängen eine fehlerhafte Platzierung der Elektroden (bspw. auf den Ohren) in Betracht.

Die Schwankungen der Anzahl der Betäubungsvorgänge (wie zwischen 11:40 Uhr und 12:00 Uhr) deuten auf Zutriebsprobleme hin. In der Regel kommt es im Zusammenhang mit Zutriebschwierigkeiten auch zu vermehrtem Treibhilfen-Einsatz (an Betrieb 1 elektrische Treibhilfen) und infolgedessen zu stark erregten Tieren im V-Restrainer. Da die Fixierung im V-Restrainer Kopfbewegungen nicht verhindert, resultieren vermehrt fehlerhafte Elektrodenansätze, die als Ursache für das Ansteigen des Anteils der „Fehlbetäubungen“ i. S. der EDV-Auswertung anzusehen sind. Der Anteil fehlerhaft platzierter Elektroden war bei den Untersuchungen von Hoenderken (1978), WYSS (1985), TROEGER U. WOLTERS DORF (1989a, 1989b) und WOLTERS DORF (1990) höher, wenn die Tiere nicht oder nur teilweise fixiert waren. Die Autoren stellten auch einen Anstieg abgebrochener oder doppelter Betäubungsvorgänge fest. Auch die Ermüdung des Betäubers, der im Verlauf der Schlachtung nicht wechselte, trug wahr-

scheinlich zu einer Erhöhung der Fehlbetäubungsrate bei, insbesondere wenn seine Arbeit durch erregte Tiere ( infolge E-Treibereinsatzes) erschwert wurde. BOOSEN U. ROMING (1993), MICKWITZ (1993) und HOLLEBEN (1996) empfahlen einen turnusmäßigen Wechsel des Betäubungspersonals.

---

Die EDV-Aufzeichnung und insbesondere ihre graphische Aufarbeitung kann herangezogen werden, um das Betäubungspersonal an das sorgfältige Vorgehen bei der Betäubung heranzuführen (BOOSEN U. ROMING (1993)), ein optimales System für den Wechsel des Personals an der Betäubung für den Schlachtbetrieb zu entwickeln und am Betrieb bestehende Zutriebsprobleme deutlich zu machen, die sich in schwankenden Betäubungszahlen je gewähltem Zeitintervall manifestieren.

---

(Anstelle der Aufzeichnung mit 4Hz Abtastrate sollte eine Meßwertauflösung von mindestens 10Hz bei der Routineaufzeichnung von Betäubungsströmen angestrebt werden (BRIESE (1996b))).

### **4.3.2 Einzeltierbezogene Auswertung des Elektrodenansatzes, des Betäubungsstromverlaufes und der Reaktionen während der Entblutung**

Bei Untersuchung U1 an Betrieb 1 wurde die Stromstärke während der Betäubung aufgezeichnet und der Elektrodenansatz am Kopf sowie die Ausprägung von (hypoxischen) Exzitationen 60-65s nach Betäubungsbeginn mittels Videoaufzeichnung bewertet. Die entsprechenden Befunde wurden den einzelnen Befunden am Tier (Reflexe, Reaktionen) zugeordnet.

Keines der 120 Tiere, die in die einzeltierbezogene Auswertung (Untersuchung U1) einbezogen waren, wies Zeichen fehlender Betäubungswirkung wie regelmäßige Atmung, Lautäußerungen oder gerichtete Augenbewegungen im Anschluß an die Durchströmung auf.

Die Gegenüberstellung der Bewertung von Video und Stromstärkeverlauf (EDV-Auswertung) ergab, daß von 58 anhand der Videoauswertung als „ungenau“ oder „falsch“ eingestuften Elektrodenansätze nur acht tatsächlich mit einer ungenügenden Stromübertragung einhergingen („falsche oder Fehlbetäubung“ im Sinne der EDV-Auswertung). Allerdings wurden 5 der 12 „falschen“ Elektrodenansätze (im Video als Plazierungen auf einem Ohr oder zu weit hinten im Nacken erkennbar) auch durch die EDV als „Fehlbetäubung“ eingestuft (zweimal Doppelbetäubung, dreimal 1,3A nicht erreicht). Insgesamt liegt der Anteil anhand Videoauswertung ungünstiger Elektrodenpositionen (falscher (10%) oder ungenauer (37%) Elektrodenansatz) wesentlich höher, als durch die EDV-Auswertung ermittelt (56 (47%) anhand Video gegenüber 11 (9%) „Fehlbetäubungen“ anhand EDV).

Nach HOENDERKEN (1978, 1979, 1983), BROCK (1987) und KOCH ET AL. (1996) beeinflußt die Elektrodenansatzstelle die Stromstärke, die im Gehirn im Sinne der Anfallsauslösung wirksam wird. Die Aufzeichnung der Stromstärkeverläufe allein läßt nach den eigenen Untersuchungen wenig Rückschluß auf die Betäubungsdurchführung (den korrekten Elektrodenansatz oder den real auf das Gehirn einwirkenden Stromfluß) zu, da auch bei einer Durchströmung ohne Betäubungswirkung infolge fehlerhafter Elektrodenplatzierung (bspw. weiter hinten am Nacken) entsprechende Stromstärken (Tab. 8, s.S. 79) erreicht würden.

Die Überwachung durch die Aufzeichnung und Auswertung der Stromstärke während der Betäubungsvorgänge (Erreichen einer Mindeststromstärke für eine Mindestdauer) allein ist ohne Berücksichtigung des korrekten Elektrodenansatzes und der klinischen Befunderhebung am betäubten Tier zur objektiven Bewertung der Betäubung

wenig geeignet. Andererseits wurde anhand der Symptomatik bei den Tieren nach der Durchströmung keines der 120 Tiere als „nicht betäubt“ eingestuft.

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Reaktionsprüfungen, der EDV- und der Videoauswertung ergab keinen deutlichen Zusammenhang zwischen den Reaktionen auf dem Entbluteband und den erhobenen Betäubungsparametern Stromstärkeverlauf (EDV) und Elektrodenansatz (Video). In einer statistischen Datenauswertung der Stromstärkeverläufe konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen positiver Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe, Reaktionen am Auge oder Exzitationen in Bezug auf die Anstiegsdauer, die Strommenge während des Anstiegs, die maximale Stromstärke, die Dauer der Durchströmung mit mind. 1,3A, die Strommenge bei der Kopfdurchströmung, die maximale Stromstärke bei der Herzdurchströmung, die Strommenge bei der Herzdurchströmung und die Gesamtstrommenge des Betäubungsvorganges nachgewiesen werden.

HOENDERKEN (1978, 1979, 1982, 1983) bezeichnete den Zusammenhang zwischen Stromfluß und GCA-Auslösung als Alles-oder-Nichts-Effekt, und er fand keinen Einfluß des Stromstärkeverlaufes auf den Anfallsverlauf. Bei Untersuchungen von COOK ET AL. (1995) bewirkten Stromflußzeiten unter 2s (1,0A\_50Hz\_Sinus) bei Schafen (ohne Schlachtung) eine leicht verkürzte Dauer der hypersynchronen Phase im EEG und tendenziell niedrigere Neurotransmitterkonzentrationen gegenüber längerer Durchströmungsdauer.

GREGORY ET AL. (1996) fanden bei Schafen einen Einfluß der Stromstärke auf den Anfallsverlauf, der sich bei AC\_250V gegenüber AC\_150V in einer verkürzten Dauer der hypersynchronen Phase im ECoG (Tab. 3, s.S. 26) widerspiegelte.

WOLTERS DORF (1990) fand demgegenüber einen Einfluß der Gesamtstrommenge auf das Wiedereintreten des Cornealreflexes, der bei höherer Strommenge (unabhängig davon, ob höhere Stromstärken oder längere Durchströmungszeiten eingesetzt wurden) später feststellbar war.

---

Die eigenen Untersuchungen stützen die in Kap. 4.2.4 (s.S. 132) angesprochene Überlegung, daß die Erholung nicht schrittweise, „Dosis-“ oder Strommengenabhängig abläuft. Weder für die Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe noch für die Reflexe am Auge konnte ein Zusammenhang mit dem Stromstärkeverlauf während der Durchströmung nachgewiesen werden.

---

#### 4.3.2.1 Exzitationen während der Entblutung

Die Problematik der Behinderung des Stechens durch Krampfverhalten im Anschluß an die Durchströmung wurde bei der Diskussion der Ergebnisse der Reaktions- und Reflexprüfungen bereits angesprochen. Der empirisch festgestellte Zusammenhang zwischen Kammerflimmern und geringer Ausprägung von Krampfaktivitäten nach Durchströmungsende wurde in Kap 2.4.4 (s.S. 52) dokumentiert.

Die Ursache dieses Effektes wurde noch nicht geklärt. Möglicherweise kommt es bei der Herz-Durchströmung zu einer direkten Stromwirkung auf das Rückenmark und infolge der fehlenden Blutversorgung (Kammerflimmern) ist die Repolarisation der Nervenzellen nicht möglich. Andererseits tritt das Phänomen verringerter tonisch-klonischer Krampfaktivität auch im Zusammenhang mit Herzkammerflimmern nach Durchströmung mit einem Elektrodenansatz beiderseits am Brustkorb auf. Eine erhöhte Ausschüttung inhibitorischer Neurotransmitter im Rückenmark (Glycin, GABA) infolge direkter Stromwirkung wäre dennoch denkbar. Möglicherweise ist aber auch der energieabhängige Abbau des an den Nervenzellmembranen im Rückenmark hyperdepolarisierend, d.h. inhibitorisch durch Anhebung der Reizschwelle, wirkenden Glycins infolge mangelnder Blutzufuhr gestört.

Bei einigen Tieren beginnen jedoch zu einem späteren Zeitpunkt nach der Betäubung Krampfaktivitäten, die in der Regel weniger ausgeprägt sind und wahrscheinlich mit hypoxischen Zuständen am Gehirn (Entblutung/Kammerflimmern) zusammenfallen.

In Betrieb 1 (U1) wurde anhand der Videoaufzeichnung eine Bewertung der Exzitationen ca. 60-65s nach Betäubungsbeginn vorgenommen und den anderen Untersuchungsergebnissen zugeordnet. Bei dem Test an der Rüsselscheibe (40-45s nach Betäubungsbeginn) waren nur vereinzelt Tiere mit stärkeren Bewegungen aufgefallen, und der Stecher wurde nach eigener Aussage nicht behindert. 58 Tierkörper (N=120) fielen bei der Videoauswertung mit Bewegungen, die über ein Paddeln oder ein Zucken der Gliedmaßen hinausgingen, auf. Statistisch konnte kein Zusammenhang mit dem Stromstärkeverlauf während der Betäubungsvorgänge nachgewiesen werden. Allerdings traten diese Exzitationen, die vermutlich als hypoxische Krämpfe infolge der cerebralen Sauerstoffunterversorgung (Kammerflimmern/Entblutung) einzuordnen sind, bei 20 der 34 „RS positiven“ Tiere 40-45s nach Betäubungsbeginn auf.

Demgegenüber fiel an Betrieb 11 auf (kleinster Anteil „RS pos.“ Tiere (4,6%) und kürzeste Stun-stick-time (11-14s)), daß nahezu alle Tiere ohne sichtbaren Muskeltonus auf dem Entblutband lagen, keine Exzitationen zeigten und auch keine reflektorischen Reaktionen auf das Anschlingen der Hintergliedmaße auftraten (Angabe des Personals).

Zur Ausprägung hypoxischer Krampferscheinungen ist wahrscheinlich eine gewisse Erholung des Gehirnes nötig, und die motorischen Konvulsionen werden bei erloschener Gehirntätigkeit möglicherweise nicht mehr ausgelöst. An Betrieb 11 könnte ein synergistischer Effekt von Kammerflimmern und frühzeitiger Entblutung die Erholung des Gehirnes nach dem generalisierten cerebralen Anfall für die Ausprägung hypoxischer Krampfaktivität verhindert haben.

Eine Klärung des Zusammenhangs zwischen Betäubung, Blutversorgung (Kammerflimmern/Entblutung) und Exzitationen im Anschluß an die Betäubung und im Verlauf der Entblutung mit Berücksichtigung der Neurotransmitter könnte interessante Ergebnisse sowohl aus Sicht der Qualitätssicherung (Muskelstoffwechsel und Qualitätsabweichungen im Zusammenhang mit den Exzitationen) als auch des Tierschutzes bringen.

### **4.3.3 Vergleichende Betrachtung der Begleitumstände der Betäubung**

Die Betriebe lassen sich bezüglich der Rahmenbedingungen kategorisch in Betriebe mit und ohne Fixierung einteilen (Tab. 15, s.S. 150).

In den Betrieben 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10 und 11 werden die Tiere durch einen Einzeltreibgang unterschiedlicher Länge der Betäubung zugeführt und einzeln für den Ansatz der Elektroden fixiert. Als besondere Problemstellen fielen dabei die Vereinzelnung, das Vortreiben im Einzeltreibgang und der Eintrieb in die Falle am Ende des Einzeltreibganges auf. Am Eintrieb in den Einzeltreibgang (Vereinzelnung) wurde in den Betrieben 1, 5, 6 und 10 der E-Treiber bei der Mehrzahl der Tiere eingesetzt. Die Vereinzelnungen und die Verhältnisse in den Einzeltreibgängen bei diesen Betrieben waren ungünstig gestaltet (trichterförmige Vereinzelnungen, Stufenförmige Vereinzelnung hinter einer Kurve (Betrieb 1) oder Treibgangverlauf hinter der Vereinzelnung nicht einsehbar (Betrieb 5), wechselnde Boden- und Wandverhältnisse, ungünstige Lichtverhältnisse), und die Schlachtzahlen lagen zwischen 250 und 300 Tieren/Stunde.

In den Betrieben 4 und 7 (Schlachtleistung 150 und 170 Schweine/Stunde) gelang der Zutrieb mit gelegentlichem und in den Betrieben 9 und 11 (150 und 200 Schweine/Stunde) vorwiegend ohne Einsatz des E-Treibers. Die Betriebe 4 und 11 hatten einen sehr kurzen Zutrieb, der an Betrieb 11 überdies gerade auf den V-Restrainer zulief und in Treibrichtung gut ausgeleuchtet war.

Die Häufigkeit der Anwendung des E-Treibers war auch von der Einstellung des Personals abhängig, das im günstigen Falle erst versuchte, das Tier ohne Stromstoß anzutreiben, und den E-Treiber nur bei bewegungsverweigernden Tieren und auch dann gezielt an der Hinterpartie einsetzte. Allerdings konnte bei den Betrieben mit V-Restrainern auch bei besonnenem Personal und optimaler Ausleuchtung in Richtung Falle auf den E-Treiber nicht verzichtet werden, da sich immer wieder Tiere weigerten, freiwillig in die Fixierung einzutreten (Verlust des Bodenkontaktes, Einengung des Brustkorbs).

Die Fixierung der Tiere in V-Restrainern erlaubte generell einen exakten Ansatz der stromführenden Elektroden am Kopf und ggf. an der Brustwand (Hirn-Herz-Durchströmung). Allerdings entstanden Probleme mit einer exakten Platzierung der Elektroden an den Betrieben mit starrer Elektrodengabel, wenn die Schlachtschweine ausgeprägte Nackenpartien aufwiesen und sich die gezahnten Elektroden deshalb nicht weit genug herunterschieben ließen (Betrieb 6 und 7). Die Hebefalle an Betrieb 4

Betrieb	Schlachtzahl je Stunde	Gestaltung der Vereinzelung	Treibgang- länge (m)	Typ der Fixierung	Verwendung elektrischer Treibhilfen		
					Vereinzelung	im Gang	Eintrieb Fix.
Betrieb 1	280	stufenförmig	10	V-Restrainer	+	+	+
Betrieb 2	60	---	---	---			
Betrieb 3	150	---	---	---			
Betrieb 4	150	stufenförmig	3	Hebefalle mit ebenerdigem Eintrieb	-	-	+
Betrieb 5	280	stufenförmig	10	V-Restrainer	+	+	+
Betrieb 6	250	trichterförmig	6	V-Restrainer	+	+	+
Betrieb 7	170	stufenförmig	5	V-Restrainer	-	-	+
Betrieb 8	120	---	---	---			
Betrieb 9	150	stufenförmig	6	V-Restrainer	-	-	+
Betrieb 10	300	trichterförmig	8	V-Restrainer	+	+	+
Betrieb 11	200	stufenförmig	4	V-Restrainer	-	-	+
Betrieb 12	60	---	---	---			

Tab. 15: Aufstellung der Zutriebsgegebenheiten an den einzelnen Betrieben bezüglich der Gestaltung der Vereinzelung in den Einzeltreibgang, seiner Länge, der Fixierungseinrichtung und des Einsatzes elektrischer Treibhilfen (E-Treiber) an der Vereinzelung, im Einzeltreibgang oder am Eintrieb in die Einzeltierfixierung.

(„trichterförmige“ Vereinzelung= kontinuierliche Verengung des Treibganges mittels spitz aufeinander Zulaufende Treibgangwände; „stufenförmige“ Vereinzelung= Verengung des Treibganges um je eine Tierbreite mit einer senkrecht zur Treibrichtung in den Gang ragenden Wand.)

erlaubte zwar ein ebenerdiges Eintreten, die Falle war jedoch schlecht ausgeleuchtet, und die Tiere scheuten vor den spiegelnden Metallwänden im Innern zurück. Darüber hinaus erlaubte die Fallenkonzeption keinen exakten Ansatz der Kopfelektroden, und der Betäuber wurde durch die Metall-Halbschalen im Kopfbereich behindert.

Demgegenüber konnte an den Betrieben ohne Fixierung (Betriebe 2, 3, 8, 12) auf den Einsatz des E-Treibers im Zutrieb verzichtet werden. An den Betrieben 3 und 8 (Schlachtzahlen 120 bis 150 Schweine/Stunde) wurde eine große Anzahl von Betäubungsvorgängen beobachtet, bei denen der Betäuber die Zange nicht optimal plazieren konnte oder die Ansatzstellen während der Durchströmung aufgrund des Umfallens der Tiere wechselten. An Betrieb 3 und 8 kam es zu mißbräuchlichem Einsatz von Stromstößen. Auch an den Betrieben 2 und 12 (Schlachtzahl 60 Schweine/Stunde) traten teilweise Fehlkontakte auf. An Betrieb 12 wurde darüber hinaus vielfach der Ansatz Stirn-Brustwand am liegenden Tier durch die anderen Tiere in der Bucht behindert. Hinzu kam, daß an den Betrieben ohne Fixierung (Buchtenbetäubung) die Einhaltung einer Stun-stick-time unter 30s nur möglich war, wenn die Tiere in unmittelbarer Nähe zum Elevator betäubt und noch beim Hochziehen auf das Schlachtband (oder unmittelbar anschließend) gestochen wurden (Betriebe 2 und 8).

Zusammenfassend war festzustellen, daß an den Betrieben mit Einzeltierfixierungen (mit Ausnahme von Betrieb 4) zwar einerseits eine exakte Plazierung der Elektroden zur Durchführung der Betäubung zu erreichen war, andererseits war eine schonende Behandlung der Tiere im Zutrieb bei den angestrebten Schlachtzahlen und suboptimaler baulicher Gestaltung (trichterförmige Vereinzlungen, ungünstiger Treibgangverlauf, ungünstige Licht-, Boden- und Wandverhältnisse) nicht gegeben war. Demgegenüber konnte an den untersuchten Betrieben bei Buchtenbetäubung ohne Fixierung zwar auf den E-Treibereinsatz verzichtet werden, die Betäubung konnte jedoch bei vielen Tieren nicht mit der nötigen Sorgfalt (Elektrodenansatz und Dauer der Durchströmung) unter Einhaltung einer kurzen Stun-stick-time durchgeführt werden. Dies deckt sich mit den Berichten von MICKWITZ U. LEACH (1977), HOENDERKEN (1978), WYSS (1985), TROEGER (1990, 1991), BOOSEN U. ROMING (1993) und HOLLEBEN (1996a, 1996b).

Insbesondere die Mängel bei einer dem Tierverhalten angepaßten Gestaltung von Zutrieb und Fixationsgeräten, die HOLLEBEN (1996a, 1996b) anmahnte, wurden bei den eigenen Untersuchungen bestätigt. HOLLEBEN`s Forderung nach einer Überprü-

fung von Fixationsanlagen vor ihrem Einsatz in der Praxis auf ihre Eignung zu einer schonenden, tierschutzgerechten Fixierung sowie nach einem an das Tierverhalten und die Durchführung der Betäubung angepaßten Design der Fixationsanlagen wird vor dem Hintergrund der eigenen Untersuchungen uneingeschränkt unterstützt.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen von Routineschlachtungen wurde bei 1.741 Schlachtschweinen in achtzehn Einzeluntersuchungen an zwölf Schlachtbetrieben mit verschiedenen Verfahren der elektrischen Betäubung (alleinige Kopfdurchströmung, Hirn-Herz-Durchströmung mit unterschiedlichen Stromparametern) die Effizienz des Betäubungsverfahrens mit Berücksichtigung des Zeitintervalles Betäubungsbeginn-Entblutestich anhand einer Reaktionsprüfung (Reaktion auf eine Traumatisierung an Rüsselscheibe und Nasenseptum (gemeinsame Innervierung durch den *N. trigeminus*) 40-45s nach Betäubungsbeginn mit einer modifizierten Flachzange) untersucht.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen unterschieden sich bezüglich des Anteils der Tiere, die auf das Trauma an der Rüsselscheibe reagierten. Die Unterschiede zwischen den Untersuchungsergebnissen ließen sich anhand der Literatur auf den Zeitpunkt des Stechens, die Wahrscheinlichkeit der Auslösung von Kammerflimmern durch die verwendeten Ströme und die Wirksamkeit der verwendeten Stromfrequenzen bei der Kopf- und der Herzdurchströmung zurückführen.

Neben der Reaktionsprüfung an der Rüsselscheibe wurde bei 1.266 Schweinen das Vorliegen einer Reflektorik am Auge (Lid- und/oder Cornealreflex) geprüft. Eine Regelmäßigkeit bezüglich des gemeinsamen oder schrittweisen Auftretens von Reaktionen oder Reflexen nach der Betäubung der Schweine wurde nicht festgestellt. Der Test an Rüsselscheibe/Nasenscheidewand erwies sich bezüglich der Durchführbarkeit und Eindeutigkeit des Befundes unter unterschiedlichen Schlachtbedingungen gegenüber der Reflexprüfung am Auge als überlegen.

Wenngleich eine Reaktion auf das Trauma an der Rüsselscheibe 40-45s nach Betäubungsbeginn nicht „per se“ als wahrnehmungs- und empfindungsgekoppelte Aktivität eingestuft wurde, so wird sie doch als Kennzeichen fortschreitender Erholung des Gehirnes mit parallel zunehmender Wahrscheinlichkeit der Rückkehr von Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen verstanden. Andererseits erscheint die Tierschutzgerechtigkeit der Schlachtung nur bei völlig reaktionslosen Tieren nach der Betäubung unzweifelhaft. Der Grundsatz im Sinne des Tierschutzes „im Zweifel für die, dem Schutz durch den Menschen anbefohlene, Kreatur“ zu urteilen, sollte in Fragen des Schlachtierschutzes strikt eingehalten werden. Daraus ergibt sich die Forderung, den Anteil auf Reaktionsproben reagierender Tiere durch entsprechende Betäubungs- und Entblutetechnik auf Null zu reduzieren.

I. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Reaktionsprüfungen nach der Betäubung wurden die verschiedenen Verfahrensweisen bei der elektrischen Betäubung von Schweinen folgendermaßen bewertet:

1.) Die Betäubung mit alleiniger Kopfdurchströmung wird tierschutzrelevant, wenn die Zeit zwischen Betäubungsbeginn und Stechen mehr als 21s beträgt. Erfolgte der Entblutestich an den Betrieben zu einem späteren Zeitpunkt, reagierte mindestens die Hälfte der Schweine auf den Test an der Rüsselscheibe/Nasenscheidewand.

Die eigenen Untersuchungen belegen außerdem, daß die alleinige Kopfdurchströmung selbst bei kurzer Stun-stick-time der Hirn-Herz-Durchströmung aus Tierschutzsicht unterlegen ist. Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse sprechen für den generellen Einsatz der Kombination von Elektrobetäubung mit der Auslösung von Kammerflimmern, d.h. einer kombinierten Hirn-Herz-Durchströmung, bei der Schlachtung von Schweinen.

2.) Eine Hirn-Herz-Durchströmung mit höherfrequentem Wechselstrom (300-500Hz) ist allerdings aufgrund der unsicheren Auslösung von Kammerflimmern ebenso wie eine alleinige Kopfdurchströmung zu bewerten.

Bei fehlendem Kammerflimmern können Exzitationen auf dem Entbluteband die Durchführung des Enblutestichs im Liegen erschweren und/oder verzögern, so daß eine unverzügliche fachgerechte Entblutung im Sinne des Tierschutzes nicht sicherzustellen ist. Ein Effekt höherer Frequenzen des Betäubungsstromes im Sinne eines verkürzten generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) (Def. s. Kap. 2.3.1, S. 6 ff.) wird durch die eigenen Untersuchungen tendenziell bestätigt.

3.) Bei einer Hirn-Herz-Durchströmung mit initial frequenzmoduliertem Strom innerhalb 500ms von 10KHz auf eine Basisfrequenz von 100Hz bei der Kopf- und auf 80Hz bei der Herz-Durchströmung wurden die besten Ergebnisse erzielt. Dieses Verfahren sollte weiter optimiert werden.

4.) Bei der asynchronen Hirn-Herz-Durchströmung ist neben der Wahl entsprechender Stromparameter zur Auslösung des generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) auf eine ausreichende Stromstärke, geeignete Stromform und Frequenz sowie eine hinreichende Stromflußdauer bei der Herzdurchströmung zu achten, da die Tierschutzgerechtigkeit der Betäubungsmethode in der Praxis (auch bei einem kurzem Stun-Stick-Intervall) von der sicheren Auslösung des Kammerflimmerns abhängt.

II. Für die tierärztliche Überwachung der Tierschutzgerechtigkeit der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

### 1.) Technische Überprüfung

Zielsetzung ist die Sicherstellung ausreichender Geräteleistung der Betäubungsanlage sowie ihrer einwandfreien Funktion mit besonderer Berücksichtigung der Kabelverbindungen, der Eignung und des Zustandes der Elektroden und Elektrodenhalter. Eine kontinuierliche Aufzeichnung der Betäubungsstromstärke während der Betäubungsvorgänge kann die technische Überwachung ergänzen, sollte jedoch im Wesentlichen zur Bewertung der technischen Eignung der Betäubungsanlage herangezogen werden. EDV-gestützte Auswertungen der Betäubungsvorgänge je Zeitintervall lassen in begrenztem Maße eine Bewertung der Zutriebsbedingungen und der Betäubungsdurchführung zu.

### 2.) Überprüfung der Durchführung von Betäubung und Entblutung sowie eine Befunderhebung an den betäubten Tieren

#### 2.1) Überprüfung der richtigen Durchführung und der Auslösung der Betäubungswirkung im Sinne eines generalisierten cerebralen Anfalles (GCA) (s.S. 9)

Hierbei ist auf einen exakten Ansatz der Elektroden und ununterbrochenen Stromfluß ohne Veränderung der Elektrodenansatzstellen für die Dauer der Durchströmung zu achten. Die Eignung von Anlagen zur Einzeltierfixierung bezüglich des Eintriebs, schonender Fixierung und des genauen Ansatzes der Elektroden sollte dabei ebenfalls überprüft werden.

Nach Ende der Durchströmung sollte bei den Tieren eine Grand mal-typische Symptomatik tonisch-klonischer Krämpfe erkennbar sein. Bei Herzkammerflimmern ist die klonische Krampfphase hingegen deutlich schwächer ausgeprägt. Nach Ende der Durchströmung dürfen regelmäßige Atmung, Lautäußerungen, Reaktionen auf den Entblutestich, erhaltene Reflektorik, gerichtete Augenbewegung oder Aufrichten der Schweine nicht festzustellen sein.

#### 2.2) Sicherstellung der Permanenz der Betäubungswirkung bis zum entblutungsbedingten Tod.

Grundlegend ist die Erfassung der Zeitdauer zwischen Betäubungsbeginn und Entblutestich. Arbeitsbedingungen und Arbeitsablauf müssen eine Entblutung zum frühestmöglichen Zeitpunkt nach Betäubungsbeginn möglichst in der Phase tonischen Krampfgeschehens sicherstellen, andernfalls sollten die Ursachen für einen verzögerten Entblutestich abgestellt werden. Zur Überprüfung und Optimierung des Vorgehens bei Betäubung und Entblutung empfiehlt sich die Befunderhebung am Tier mittels der Reaktionsprüfung auf ein Trauma an der Rüsselscheibe und/oder dem Nasenseptum.

## 6 SUMMARY

### **"Evaluation of the return of reflexes (eye reflexes and nose pinch reactions) after electric stunning of slaughter hogs and comparison of electrode positions, variations of time between stunning and bleeding, and different frequencies of electric current."**

Electric stunning results in paroxysmal cerebral (epileptic) seizures with temporary loss of consciousness. Death is caused either by bleeding or cardiac arrest. During routine slaughter it is difficult to tell whether animals regain consciousness or sensation.

In eighteen studies involving twelve slaughter houses, 1,741 hogs were tested for eye reflexes and nose pinch reaction. Various stunning methods were used including asynchronous cardiac arrest stunning, head only stunning, and different frequencies of current. Testing was done using a modified tong pinching the hog's nose and or nasal septum (enervated by the trigeminal nerve) at 40 to 45 sec. after initiation of current flow. The different killing methods produced dissimilar results. This can be explained by the variations in stun-stick-times, and current form influence on the epileptic fit and the probability of cardiac arrest which is also frequency dependent.

In addition to the nose pinch reaction test, 1,266 animals were tested for eye reflexes. There was no regularity or correlation between the reactions of the two test, and the nose pinch test is more accurate and practical under actual slaughter house conditions.

Although the nose pinch test probably does not indicate consciousness, a positive reaction may indicate the possibility of eventual return to consciousness. Therefore the goal of further investigation should be to determine which slaughter-method would lead to zero positive reactions to the nose pinch test.

#### I. The investigated stunning method had been evaluated on the ground of recent results:

1.) Head-only stunning is considered inhumane if stun to stick time exceeds more than 21 sec.. In all cases when sticking took place after this time more than fifty percent of slaughter hogs reacted to the nose pinch test. Even when slaughter houses with head only stunning were able to stick the hogs 15 - 21sec. after current flow began, the number of positive reacting hogs was higher than after asynchronous cardiac arrest stunning. The results underline the importance of inducing cardiac fibrillation in hogs after the onset of (epileptic) seizures through the stun.

2.) In cardiac arrest stunning, when current frequencies were 300 to 500 Hz, there was reduced incidence of cardiac fibrillation. The results were similar to head only

stunning. Without cardiac fibrillation, exact sticking in a lying position can be hindered and humane slaughter can not be assured. The results of this work confirms the results of other investigators concerning the shorter seizure-activity resulting from higher current frequencies.

3.) Asynchronous cardiac arrest stunning using frequency modulated current (head current: 500ms from 10KHz down to 100Hz; heart-current: 500ms from 10KHz down to 80 Hz resulted in the lowest percentage of reacting pigs after stunning and sticking (nose-pinch: 4,6%; eye-reflexes: 0% (N=237)).

4.) When using asynchronous cardiac arrest stunning, it is essential to control also the heart-current frequency, strength, and duration; in order to induce fibrillation and assure humane slaughter with short stun to stick times.

## II. Veterinary supervision of humane slaughter should include following steps:

### 1.) Technical examination.

The goal of the technical examination of stunning equipment should be to assure the proper function of the stunning device; including cables, electrodes and electric tongs. Continuous measurement of current can be a help (limited) in evaluating the stunning. Process evaluation can be used to analyse the conditions of pre-slaughter handling in the animals.

### 2.) Examination of the process of stunning and sticking, including physical evaluation of the anaesthetized animals.

#### 2.1) Evaluation of the process and efficacy of electric stunning (seizures)

Exact placement of the electrodes and continuous current flow during the stunning time should be a priority. Evaluation should include the suitability of the restraining device to assure calm entrance and low stress restraint, so that the electrodes can be placed precisely.

At the end of current-flow, all animals must show typical signs of grand mal seizures, i.e. tonic-clonic spasms, no regular breathing, no reflexes, no vocalization, no reaction to the bleeding-stick, nor head righting. (In case of cardiac fibrillation, clonic contractions may be slight or unnoticeable.)

#### 2.2) Assurance of maintaining the effect of stunning till death resulting from blood loss

Measuring the stun to stick time and evaluate the workflow and -conditions is fundamental for humane slaughter. It must be assured that early sticking in the tonic state of epileptic fit is possible. Assessment of stunning and sticking could be assured by testing the nose pinch reaction or by a surface cut at nose tip or septum with a knife.

## 7 SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

**Tierschutzgesetz** in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Februar 1993; zuletzt geändert durch Artikel 86 des Gesetzes vom 27. April 1993  
BGBI. I S. 254, 512, 2436

**Fleischhygiene-Gesetz** (FlHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Juli 1993  
BGBI. I S. 1189

**Gesetz** über das Schlachten von Tieren in der im Bundesgesetzblatt Teil II, Gliederungsnummer 7833-2-1, veröffentlichten bereinigten Fassung  
(Gesetz über das Schlachten von Tieren in der im Bundesgesetzblatt Teil II, Gliederungsnummer 7833-2, veröffentlichten Fassung, geändert durch Artikel 216 Abschnitt I des Gesetzes vom 2. März 1974)  
BGBI. I S. 469

**Richtlinie** 93/119/EG des Rates vom 22. Dezember 1993 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Schlachtung oder Tötung  
ABl. EG Nr. L 340 S.21

**Verordnung** zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung  
(Tierschutz-Schlachtverordnung; TierSchlV) in Vorbereitung  
(zit. anhand der Entwurffassung vom 22. Aug. 1996)

ANIL, M. H.; FORDHAM, D. P.; RODWAY, R. D. (1990)  
Plasma Beta-Endorphin increase following electrical stunning in sheep.  
Br. Vet. J. 146, 476

ANIL, M. H. (1991)  
Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning.  
Meat Sci. 30, 13-21

ANIL, M. H.; MCKINSTRY, J. L. (1991)  
Reflexes and loss of sensibility followed head-to-back electrical stunning in sheep.  
Vet. Rec. 128, 106-107

ANIL, M. H.; MCKINSTRY, J. L. (1992)  
The effectiveness of high frequency electrical stunning in pigs.  
Meat Sci. 31, 481-491

ANIL, M. H. (1995)  
Persönl. Mitteilung im Rahmen eines informativen Treffens am 27.7.1996 in Langford  
(Bristol), Groß-Brittanien

ANIL, M. H.; MCKINSTRY, J. L.; WOTTON, S. B.; GREGORY, N. G. (1995a)  
Welfare of Calves - 1. Investigation into some Aspects of Calf Slaughter.  
Meat Sci. 41, 101-112

ANIL, M. H.; MCKINSTRY, J. L.; GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B.; SYMONDS, H. (1995b)  
Welfare of Calves - 2. Increase in Vertebral Artery Blood Flow Following Exsanguination by Neck Sticking and Evaluation of Chest Sticking as an Alternative Slaughter Method.  
Maet Sci. 41, 113-123

- ANONYM, (1994)  
 Measured resistance.  
 Meat Trades J., July 21, 8-9
- BAGER, F.; TAVENER, A.; DEVINE, C. E.; GILBERT, K. V. (1988)  
 The relationship between cortical electrical activity and mean arterial blood pressure during slaughter of calves.  
 Proc. 34th Congr. of Meat Sci. and Techn., Brisbane, 114-116
- BAGER, F.; SHAW, F. D.; TAVENER, A.; LOEFFEN, M. P. F; DEVINE, C. E. (1990)  
 Comparison of EEG and ECoG for detecting Cerebrocortical Activity during slaughter of calves.  
 Meat Sci. 27, 211-225
- BAGER, F.; BRAGGINS, T. J.; DEVINE, C. E.; GRAAFHUIS, A. E.; MELLOR, D. J.; TAVENER, A.; UPSDELL, M. P. (1992)  
 Onset of insensibility at slaughter in calves: effect of electroplectic seizure and exsanguination on spontaneous electrocortical activity and indices of cerebral metabolism.  
 Res. Vet. Sci. 52, 162-173
- BAUMBARTNER, G. (1976)  
 Nervensystem.  
 In BÜHLMANN FROESCH: Pathophysiologie  
 Heidelberger Taschenbücher Springer Verlag, Dritte, überarbeitete und erweiterte Auflage,  
 Berlin, Heidelberg, New York
- BIALLAS, H. (1921)  
 Die Entwicklung des Fleischverkehrs und der Fleischschau in Berlin vom Mittelalter bis in die Neuzeit. (Eine kulturhistorische Studie).  
 Berlin, Tierärztliche Hochschule, Diss.
- BIEGELMEIER, G. (1977)  
 Über die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Menschen.  
 Elektrotechnik u. Maschinenbau 94, 107-118
- BIEGELMEIER, G. (1986)  
 Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere.  
 Offenbach; VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach; ISBN 3-8007-1452-3
- BLACKMAN, N. L.; CHEETHAM, K.; BLACKMORE, D. K. (1986)  
 Differences in the blood supply to the cerebral cortex between sheep and calves during slaughter.  
 Res. Vet. Sci. 40; 252-254
- BLACKMORE, D. K.; NEWHOOK, J. C. (1976)  
 Effects of different slaughter methods on bleeding sheep.  
 Vet. Rec. 99, 312-316
- BLACKMORE, D. K.; NEWHOOK, J. C.; PETERSEN, G. V. (1979)  
 Electrical Stunning and Humane Slaughter.  
 N Z Vet J 29, 224
- BLACKMORE, D. K.; PETERSEN, G. V. (1981)  
 Stunning and slaughter of sheep and calves in New Zealand.  
 NZ Vet. J. 29, 99-102

- BLACKMORE, D. K.; NEWHOOK, J. C. (1982a)  
 The assessment of insensibility in sheep, calves, and pigs during slaughter.  
 In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): *Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medicine*; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9
- BLACKMORE, D. K.; NEWHOOK, J. C. (1982b)  
 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 Sci.* 7, 19-28
- BLACKMORE, D. K.; DELANY, M. W. (1988)  
 Slaughter of stock - A practical Review and Guide  
 Massey University, Palmerstn North, New Zealand; Publication No. 118 (ISSN 0112-9643)
- BLOMQUIST, S. M. (1958)  
 Some observations on the electrical stunning of pigs.  
*Food Manufact.* 33, 491-511
- BOCKELMANN, C. (1902)  
 Über Betäubung der Schlachttiere mittels hochgespannter Elektrizität.  
*Z. Fleisch-Milchhyg.* 12, 132-135
- BOOSEN, M.; ROMING, L. (1993)  
 Erfahrungen bei der Überwachung der Elektrobetäubung von Schlachtschweinen und der technischen Überprüfung von Betäubungseinrichtungen im Regierungsbezirk Weser-Ems.  
*DTW* 100, 61-65
- BOOTH, N. H. (1982)  
 "11. Clinical stages of general anesthesia." (S. 165-174)  
 "12. Inhalant Anesthetics." (S. 175-202)  
 in "Veterinary Pharmacology and Therapeutics."; Fifth Ed.;  
 Ed.: Booth, N. H.; McDonald, L. E.;  
 The Iowa state university press / Ames
- BREAZILE, J. E.; KITCHELL, R. L.; NAITOH, Y. (1963)  
 Neural bases of pain in animals.  
*Proc. 15th Res. Conf. Am. Meat Inst. Fdn.*, 53-65
- BREER, A. (1936)  
 Ueber Versuche an Haustieren mit elektrischer Betäubung.  
 Berlin, Friedrich-Wilhelms-Universität; Diss.
- BRIESE, A. (1994b)  
 Die Schlachtieruntersuchung aus der Sicht des Tierschutzes.  
*Amtstierärztl. Dienst und Lebensmittelkontrolle* 1, 44-48
- BRIESE, A.; WENZLAWOWICZ, M. v. (1996)  
 Einrichtung zur schonenden Zuführung und Ruhigstellung von Schlachtschweinen zur elektrischen Betäubung.  
*Proc. Schlachttechnologie-Workshop "Schweinebetäubung - Neuentwicklungen bei Zutrieb, Betäubung, Brühen"*; 8./9.5.1996 in der BAFF, Kulmbach

- BRIESE, A. (1996a)  
 Beurteilung neuer elektrischer Betäubungsverfahren für Schweine.  
 Proc. DVG-Tagung "Tötung von Tieren und Kennzeichnung von Tieren" am 14./15.3.1996  
 in Nürtingen, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.; ISBN 3-930511-27-4; S.  
 53-66
- BRIESE, A. (1996b)  
 Technische Überwachung der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen.  
 Proc. DVG-Tagung "Tötung von Tieren und Kennzeichnung von Tieren" am 14./15.3.1996  
 in Nürtingen, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.; ISBN 3-930511-27-4; S.  
 67-69
- BRINKMANN, K.; SCHAEFER, H. (1982)  
 Kap. 5.4.7: Besonderheiten hoher Spannungen (S.190ff)  
 in: "Der Elektrounfall";  
 Berlin, Heidelberg, New York ; Springer Verlag
- BROCK, F. (1987)  
 Modellversuche und Feldstudie zur Effektivität der elektrischen Betäubung bei Schlacht-  
 schweinen unter Berücksichtigung von Tierschutz-, Technologie- und Fleischqualitäts-  
 aspekten  
 Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- BÜCH, H. P.; BÜCH, U. (1988)  
 "Narkose." (S.469-489)  
 In: "Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie."; 5. neu bearb. u. erw. Aufl.  
 Hrsg.: Forth, W.; Henschler, D.; Rummel, D.  
 Bibliographisches Institut und F. A. Brockhaus AG, Zürich 1988
- COOK, C. J.; DEVINE, C. E.; TAVENER, A.; GILBERT, K. V. (1992)  
 Contribution of amino acid transmitter to epileptiform activity and reflex suppression in  
 electrical head stunned sheep.  
 Res. Vet. Sci. 52, 48-56
- COOK, C. J. (1993)  
 Stunning science. A guide to better electrical stunning.  
 Meat Focus March 93, 128-131
- COOK, C. J.; DEVINE, C. E.; GILBERT, K. V.; SMITH, D. D., MAASLAND, S. A. (1995)  
 The Effect of Electrical Head-only Stun Duration on Electroencephalographic-Measured  
 Seizure and Brain Amino Acid Neurotransmitter Release.  
 Meat Sci. 40, 137-147
- CROFT, P. G. (1952)  
 Problems of electrical stunning.  
 Vet. Rec. 18, 255-258
- CROFT, P. G.; HUME, C. W. (1956)  
 Electric stunning of sheep  
 Vet. Rec. 68, 318-321

- DALY, C. C.; KALLWEIT, E.; ELLENDORF, F. (1988)  
Cortical function in cattle during slaughter with conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with Shechitah slaughter.  
Vet. Rec. 122, 325-329
- DAYEN, M. (1989)  
Diskussionsbeitrag zum Referat von Troeger und Woltersdorf (DTW 96, 100-103)  
DTW 96, 103
- DELANK, H.-W. (1988)  
"1.7 Anfallsleiden"; S.186-187  
In: "Neurologie"  
5. neu bearb. Aufl.; Stuttgart; Ferdinand Enke Verlag)
- DEMMLER, T. (1988)  
Die Erzeugung eines irreversiblen Herzkammerflimmerns bei Schwein und Schaf mittels elektrischen Stromes nach vorangegangener Gehirndurchströmung (elektrische Betäubung) als tierschutzgerechte und tierseuchenrechtlich empfehlenswerte Tötungsmethode im Seuchenfall.  
Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- DEVINE, C. E.; GILBERT, K. V.; TAVENER, A.; DAY, A. (1985)  
The use of electrical stunning followed by electro-immobilization for the humane slaughter of cattle.  
NZ Vet. J. 33, 47
- DEVINE, C. E.; GILBERT, K. V.; GRAAFHUIS, A. E.; TAVENER, A.; REED, H.; LEIGH, P. (1986a)  
The Effect of Electrical Stunning and Slaughter on the Electroencephalogram of Sheep and Calves.  
Meat Sci. 17, 267-281
- DEVINE, C. E.; TAVENER, A.; GILBERT, K. V.; DALY, A. M. (1986b)  
Electroencephalographic studies of adult cattle associated with electrical stunning, throat cutting and carcass electro-immobilization.  
NZ Vet. J. 34, 210-213
- DEVINE, C. E.; TAVENER, A.; GRAAFHUIS, A. E.; GILBERT, K. V. (1987)  
Electroencephalographic studies of calves associated with electrical stunning, throat cutting and carcass electro-immobilization.  
NZ Vet. J. 35, 107-112
- DYCE, K. M.; SACK, W. O.; WENSING, C. J. G. (1987)  
Chapter 35: The vertebral column, the back and the thorax of the pig.  
in: "Textbook of veterinary anatomy"; Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo; W.B. Saunders Company
- EHRENTAUT, W.; NOËL, R. (1987)  
Kap. 11 Anästhesie und chirurgische Eingriffe (S. 694 ff.)  
in: "Schweinekrankheiten."; 3. überarb. Aufl.  
Hrsg: Kielstein, P. ; Wohlfarth, E.  
Stuttgart; Ferdinand Enke Verlag 1987
- ELGER, C.E. (1996)  
Persönliche Mitteilung, November 1996

- FABIAN, L. W.; HARDY, J. D.; TURNER, M. D.; MOORE, F. J. (1964)  
A review of the present status of electronarcosis.  
Anesthesia Analgesia 43, 87-96
- FAHRBACH, R. (1948)  
Die heute üblichen Betäubungsmethoden bei Schlachttieren und ihre historische Entwicklung.  
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- FEHRENBURG, C.; MICKWITZ, G. v.; REUTER, G. (1991)  
Elektrische Betäubung von Schlachtschweinen.  
Fleischwirtsch. 71 , 909-913
- FEHRENBURG, C. (1991)  
Untersuchung zur Anwendung einer synchronen Gehirn-Herz-Durchströmung bei der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen mit besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Fleischqualität.  
Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- FERRIS, L. P.; KING, B. G.; SPENCE, P. W.; WILLIAMS, H. B. (1936)  
Effect of Electric Shock on the Heart.  
Electrical Eng., 498-515
- FEUERSTEIN, T. J.; JURNA, I. (1996)  
Kap. „Pharmakologie der Epilepsie“; S.263-273  
In: „Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie“  
7. völlig neu bearb. Aufl.  
hrsg. von Forth, W.; Henschler, D.; Rummel, W.; Starke, U.  
Heidelberg, Berlin, Oxford; Spektrum Akademischer Verlag
- FLEMING, G. W. T. H.; GOLLA, F. L.; WALTER, W. C. (1939)  
Zit. nach Warrington (1974)  
Electrical stunning: A review of the literature.  
Vet. Bull. 44, 617-628
- FRESESMANN, L. (1975)  
Elektroencephalographische und elektrokardiographische Untersuchungen zur Bolzenschußbetäubung beim Schaf.  
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- FREIBERGER, H. (1934)  
Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom.  
Berlin, Springer-Verlag
- FREITAG, D. (1994)  
Untersuchungen zum Einfluß einer synchronen Gehirn-Herz-Durchströmung bei der Elektrobetäubung von Schlachtschweinen (in einer Restaraineranlage) auf das Verhalten der Tiere nach der Betäubung und auf die Fleischqualität mit besonderer Berücksichtigung des Stromflusses.  
Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.

- GAULTIEROTTI, T.; MARTINI, E.; MARZORATI, A. (1942)  
 Untersuchungen über die Elektronarkose. Mit besonderer Berücksichtigung der aktiven elektrischen Erscheinungen des zentralen Nervensystems.  
 Pflügers Arch. 246,359-371
- GEDDES, L. A.; HOFF, H. E.; MCCRADY, J. D. (1967)  
 Electro-anaesthesia in the horse.  
 in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium 12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
 Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
 Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation
- GEORGE, L. (1990)  
 8. Localization and Differentiation of neurologic diseases. (S. 145 ff.)  
 in: "Large animal internal medicine.";  
 Ed.: B. P. Smith;  
 St louis, Baltimore, Philadelphia, Toronto; The C.V. Mosby Company
- GETTY, R. (1975)  
 Godinho, H. P.; Getty, R. : Porcine peripheral nervous system - Cranial nerves.  
 in "Sissons and Grossman, s The anatomy of the domestic animals"; Ed.: R. Getty; 5. Aufl.;  
 Philadelphia, London, Toronto; W. B. Saunders Company
- GILBERT, K. V. (1980)  
 Developments in stunning and slaughter.  
 Hamilton, NZ, Proc. MIRINZ conf. 748, 18-23
- GILBERT, K. V.; DEVINE, C. E. (1982)  
 Effect of electrical stunning methods on petechial haemorrhages and on blood pressure of lambs.  
 Meat Sci. 7, 197-207
- GILBERT, K. V.; DEVINE, C. E. (1986)  
 Stunning and stillness.  
 Proc. 22th Meat Industry Res. Conf., 29-32
- GILBERT, K.V. (1993)  
 Electrical stunning and slaughter in New Zealand.  
 Mirinz 908, Technical Report; ISSN 0465-4390
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1983)  
 Studies of the central nervous system: visually evoked cortical responses in sheep.  
 Br. Vet. J. 34, 315-319
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B.; WILKINS, L. J. (1984)  
 The effects of inducing cardiac arrest at stunning on brain function, bleeding efficiency and susceptibility to bruising in sheep.  
 Proc. 30th European Meeting of Meat Research Workers, 25-26
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1984a)  
 Sheep slaughtering procedures. I. Survey of abattoir practice.  
 Br. Vet. J. 140, 281-286

- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1984b)  
 Sheep slaughtering procedures. III. Head-to-back electrical stunning.  
 Br. Vet. J. 140, 570-575
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1984c)  
 Time to loss of brain responsiveness following exsanguination in calves.  
 Res. Vet. Sci. 37, 141-143
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1985)  
 Sheep slaughtering procedures. IV. Responsiveness of the brain following electrical stunning.  
 Br. Vet. J. 141, 74-81
- GREGORY, N. G. (1985)  
 Stunning and slaughter of pigs.  
 Pig News Inf. 6, 407-413
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1986)  
 Effect of slaughter on the spontaneous and evoked activity of the brain.  
 Brit. Poultry Sci. 21, 195-205
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1988)  
 Sheep slaughtering procedures. V. Responsiveness to potentially painful stimuli following electrical stunning.  
 Br. Vet. J. 144, 573-580
- GREGORY, N. G.; WOTTON, S. B. (1989)  
 Effect of electrical stunning on somatosensory evoked potentials in chickens.  
 Br. Vet. J. 145, 159-164
- GREGORY, N. G. (1993)  
 Slaughter Technology  
 Electrical stunning in large cattle.  
 Meat Focus Int. January, 32-36
- GREGORY, N. G.; ANIL, M. H.; MCKINSTRY, J. L.; DALY, C. C. (1996)  
 Prevalance and duration of insensibility following electrical stunning in calves.  
 NZ Vet. J. 44, 1-3
- HEINRITZI, K.; KÖNIG, H. E. (1988)  
 Anästhesie beim Schwein.  
 Tierärztl. Prax. 16, 45-52
- HOENDERKEN, R. (1978)  
 Elektrisch Bedwelming van slachtvarkens.  
 Utrecht, Fak. Veterinärmed., Diss.
- HOENDERKEN, R. (1979)  
 Zur Betäubung von Schlachtschweinen.  
 SVZ Schlachten Vermarkten 8, 235-237
- HOENDERKEN, R. (1982)  
 Electrical and carbondioxide stunning of pigs for slaughter.  
 In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medecine; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9

- HOENDERKEN, R. (1983)  
Zur Betäubung von Schlachtschweinen.  
DTW 90, 68-69
- HOLLEBEN, K. v. (1996a)  
Praktische und tierschutzrelevante Aspekte der Fixierung von Rindern und Schweinen zur Betäubung.  
Proc. DVG-Tagung "Tötung von Tieren und Kennzeichnung von Tieren" am 14./15.3.1996 in Nürtingen, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.; ISBN 3-930511-27-4; S. 44-52
- HOLLEBEN, K. v. (1996b)  
Angewandter Tierschutz in Schlachtbetrieben.  
DTW 103, 55-58
- HOPSTER, H.; BLOKHUIS, H. J. (1994)  
Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress response in dairy cows.  
Can. J. Anim. Sci. 74, 465-474
- JAGGI A. U. STEFFENS, F. (1995)  
„Epileptische Krampfanfälle beim Hund - Teil I: Klassifikation, Symptomatik und Diagnose.“  
Praktischer Tierarzt 2; 95-102
- JANZ, D. (1985)  
„Epilepsy: Seizures and Syndroms“; (S.3-34)  
In: „Antiepileptic drugs“  
Hrsg. Frey, H. H. u. Janz, D.  
Berlin, Heidelberg; Springer Verlag
- JEMMI, TH. (1986)  
Praktische Anwendung neuer Forschungsergebnisse bei der Schlachtviehbetäubung.  
Swiss Vet. 3, 14-19
- JUNG, R. (1949)  
Hirnelektrische Untersuchungen über den Elektrokrampf: Die Erregungsabläufe in kortikalen und subkortikalen Hirnregionen bei Katze und Hund.  
Arch. f. Psychiatr. 183, 206
- JURNA, I. (1992)  
„Pharmakotherapie der Epilepsie.“; S.507-518  
In: „Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie.“; 6. völlig neu bearb. Aufl.  
Hrsg. Forth, W.; Henschler, D.; Rummel, D.  
Bibliographisches Institut und F. A. Brockhaus AG, Zürich 1988
- KAMPHUIS, L. (1982)  
High voltage stunning and safety measures.  
In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medicine; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9
- KIRCHNER, S. (1992)  
Untersuchungen über die Auswirkungen elektrischer Betäubungsverfahren auf pH-Wert-Entwicklung und Ausblutungsgrad bei Schlachtschweinen.  
Gießen, Justus-Liebig-Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- KIRTON, A. H.; BISHOP, W. H.; MULLORD, M. M.; FRAZERHURST, L. F. (1978)  
Relationships between time of stunning and time of throat cutting and their effects on blood pressure and blood splash in lambs.  
Meat Sci. 2, 199-206

- KIRTON, A. H.; FRAZERHURST, L. F.; WOODS, E. G.; CHRYSTALL, B. B. (1980-81)  
Effect of electrical stunning method and cardiac arrest on bleeding efficiency, residual blood and blood splash in lambs.  
Meat Sci. 5, 347-353
- KIRTON, A. H.; FRAZERHURST, L. F. (1983)  
Effects of Normal, Light /Normal or Double Stunning on the Incidence and Severity of Blood Splash in Lambs.  
Meat Sci. 9, 1-6
- KNUTSON, R. C.; HAGFORS, N. R.; MATTHEWS, J. H. (1967)  
The effects of various electrodes and electrode placement upon the electroencephalogram during electroanaesthesia in dogs.  
in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium 12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation
- KOCH, R.; FELDHUSEN, F.; MARAHRENS, M.; GIESE, W. (1996)  
Modell zur Messung der Stromverteilung im Schweinekopf bei der Elektrobetäubung.  
Fleischwirtsch. 76; 692-696
- KOCH, R. (1996)  
Persönliche Mitteilung, Juli 1996
- KÖSLER, (1928)  
Die elektrische Betäubung des Schlachtviehes.  
Z. Fleisch- Milchhyg., 38, 284-285
- KRÖLLING, O.; GRAU, H. (1960)  
IX. Das zentrale Nervensystem (S. 395-421)  
in "Lehrbuch der Histologie und vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Haustiere";  
10. Aufl.; Berlin, Hamburg; Parey
- LAMBOOIJ, E. (1981)  
Some neuronal and physiological aspects of electrical and mechanical stunning in ruminants.  
Utrecht, Fak. Veterinärmed., Diss.
- LAMBOOIJ, E.; SPANJAARD, W. (1982)  
Electrical stunning of veal calves.  
Meat Sci. 6, 15-25
- LAMBOOIJ, E. (1982)  
Electrical stunning of sheep.  
Meat Sci. 6, 123-125
- LAMBOOIJ, E.; LOGTSTIJN, J. G. VAN; SYBESMA, W. (1983)  
Some aspects of electrical and mechanical stunning in ruminants.  
Fleischwirtsch. 63, 901-903
- LAMBOOIJ, E.; MENS, W. B. J.; WIMERSMA GREIDANUS, T. B. VAN (1985)  
Vasopressin and Oxytocin in Plasma of Veal Calves, Sheep and Pig After High Voltage Electrical Stunning.  
Meat Sci. 14, 127-135

- LAMBOOIJ, B. (1985)  
Electroanaesthesia or electroimmobilisation of calves, sheep and pigs by the Feenix Stockstilt.  
Vet. Q. 7, 120-126
- LAMBOOIJ, E.; RING, C. (1989)  
Elektrische Betäubung von Schlachttieren. Gegenwärtiger Stand und Entwicklung.  
Fleischwirtsch. 69, 1347-1350
- LAMBOOIJ, B.; MERKUS, G.; HULSEGGE, I. (1992)  
A band restrainer for slaughter pigs.  
Fleischwirtsch. 72, 1271-1272
- LAMBOOIJ, E.; MERKUS, G. S. M.; HULSEGGE, B. (1993)  
Automatic electric stunning in a band restrainer for slaughter pigs.  
Calgary, Proc. 39th ICoMST, 1.8.1993
- LAMBOOIJ, E.; SCHATZMANN, U. (1994)  
The use of high pressure waterjet combined with electroimmobilization for the stunning of slaughter pigs: some aspects of meat quality.  
Meat Sci. 37, 381-389
- LAMBOOIJ, E. (1996a)  
Automatisches Hochfrequenz-Betäubungsverfahren für Schlachtschweine.  
Proc. Schlachttechnologie - Workshop, 8./9. Mai 1996 in der Bundesanstalt f. Fleischforschung (BAFF), Kulmbach
- LAMBOOIJ, E. (1996b)  
Persönliche Mitteilung, Schlachttechnik-Workshop in Kulmbach 8.-9. Mai
- LEACH, T. M.; WARRINGTON, R. (1976)  
The electrocardiogram of sheep, monitored by radiotelemetry, during electrical or carbon-dioxide stunning and subsequent slaughter.  
Med. Biol. Eng. 1, 79-85
- LEACH, T. M.; WARRINGTON, R.; WOTTON, S. B. (1980)  
Use of a conditioned stimulus to study whether the initiation of electrical pre-slaughter stunnings is painful.  
Meat Sci. 4, 203-208
- LEDUC, S. (1902)  
Production du Sommeil et de l' Anesthesie Generale et locale par les Courants intermittents de basse Tension.  
Archs. Elect. Med. 10; 617-621
- LEDUC, S. (1903)  
Le Narcose Electrique.  
Z. Elektrotherapie u. verwandte phys. Heilmethoden 5, 374-381
- LÖSCHER, W. (1994)  
Kap. C: Pharmaka mit Wirkung auf das Zentralnervensystem. (S. 66-115)  
in: "Grundlagen der Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren."; 2. neu bearb. u. erg. Aufl.  
Hrsg: Löscher, W. ; Ungemach, F. R.; Kroker, R.  
Berlin und Hamburg; Parey 1994

LOPES DA SILVA, F. H. (1982)

The assessment of unconsciousness: General principles and practical aspects.

In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medicine; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9

MICKWITZ, G. VON; REINHARD, H.-J. (1966)

Experimentelle Untersuchungen zur Elektronarkose beim Schwein.

DTW 73, 49-56

MICKWITZ, G. v. (1967)

Diskussionsbeitrag zum Vortrag von E. Rügheimer : "Animal experiments using conventional and new techniques of electro-Anaesthesia." (S. 263).

in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium 12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";

Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;

Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation

MICKWITZ, G. VON; REINHARD, H.-J. (1967)

Experimentelle Untersuchungen am Schwein über die Bedeutung des Stromweges durch den Körper bei der Beurteilung von elektrischen Unfällen.

DTW 74, 405-407

MICKWITZ, G.; LEACH, T. M. (1977)

Schlachtierbetäubung in den Mitgliedsstaaten der EG.

Mitt. über Landwirtsch. d. Kommission der EG. Nr. 20

MICKWITZ, G. VON (1982)

A survey of current methods of stunning farm animals in EEC Countries.

In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medicine; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9

MICKWITZ, G. VON (1987)

Diskussionsbemerkung zum Vortrag von Dr. Drawer über die Schlachtierbetäubung "Zur Problematik der CO<sub>2</sub>- und der elektrischen Betäubung an Schlachthöfen und der Bedeutung eines tierschutzgerechten Umganges mit den Tieren auf dem Weg zum Schlachthof und am Schlachthof für eine bessere Fleischqualität".

DTW 94, 111-112

MICKWITZ, G. v.; HEER, A.; DEMMLER, T.; REHDER, H.; SEIDLER, M. (1989)

Tierschutz- und tierseuchengerechtes Töten von Rindern, Schweinen und Schafen mit Hilfe einer transportablen Elektro-Anlage zur Schlachtierbetäubung (Schermer Typ EC)

DTW 96; 127-133

MICKWITZ, G. VON (1993)

Betäuben von Schlachtieren aus der Sicht des Tierschutzes und der Fleischqualität.

Vortrag auf der Ausstellung "Zwischen Mensch und Tier", Sept. 1993, Berlin -Sonderdruck-

MOSFELD LAURSEN, A. M. (1982)

Choosing between CO<sub>2</sub> and Electrical stunning of pigs.

In: Eikelenboom, G. (Hrsg.): Stunning of animals for slaughter; Current topics in Veterinary Medicine; Band 25; M. Nijhoff Publishers Boston; ISBN 0-89838-598-9

- MÜLLER, M. (1934a)  
Um die elektrische Betäubung.  
Dtsch. Schlachthof-Z. 34, 305-306
- MÜLLER, M. (1934b)  
Dreijährige glänzende Erfahrung mit der elektrischen Betäubung der Schlachtschweine.  
Dtsch. Schlachthof-Z. 34, 272-273
- MÜLLER, A.; ENGELI, P. (1968)  
Die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen.  
Fleischwirtsch. 48, 1346-1349
- MÜLLER, A. (1970)  
Grundlegendes zur Elektroanästhesie.  
Schweiz. Arch. Tierheilk. 112, 215-232
- NEWHOOK, J. C.; BLACKMORE, D. K. (1982a)  
Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves - Part 1: The onset of permanent insensibility in sheep during slaughter.  
Meat Sci. 6, 221-233
- NEWHOOK, J. C.; BLACKMORE, D. K. (1982b)  
Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves - Part 2: The onset of permanent insensibility in calves during slaughter.  
Meat Sci. 6, 295-300
- NICKEL, R.; SCHUMMER, A.; SEIFERLE, E. (1984)  
Seiferle, E.; Frewein, J. : Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia.  
in "Lehrbuch der Anatomie der Haustiere (Band 1)"; 5. Aufl.; Berlin, Hamburg; Parey
- OSTERTAG, R. v. (1902)  
Zu der Bedeutung der "vollständigen Entlutung" finden sich Anmerkungen auf den Seiten 152, 154, 166, 279, 342, 354, 761-763.  
In: "Handbuch der Fleischschau"; 4. neu bearb. Aufl.  
Stuttgart; Verlag von Ferdinand Enke 1902
- PLONAIT, H. (1988)  
Kap. 3.3 Anästhesie und Narkose. (S. 38-41)  
in: "Lehrbuch der Schweinekrankheiten.";  
Hrsg: Plonait, H. ; Bickhardt, K.  
Berlin und Hamburg; Parey 1988
- PROKOP, O.; GÖHLER, W. (1976)  
Der Elektrotod.  
Forensische Medizin.  
Hrsg.: Prokop, O.; Göhler, W.  
Stuttgart, New York; G. Fischer Verlag, 3. überarb. u. erw. Aufl., 155-164
- PSCHYREMBEL - KLINISCHES WÖRTERBUCH (1994)  
Stichwort: „Epilepsie“ (S. 418 ff.)  
257. Auflage  
Berlin, New York; Walter de Gruyter

- RABENDING, G. (1993)  
 "2. Klassifikation der Anfälle und der Epilepsien"; S. 13 ff.  
 In: "Die Epilepsien: Grundlagen, Klinik, Behandlung"  
 hrsg. von W. Fröscher u. F. Vasella  
 Berlin, New York; De Gruyter
- REIN, H.; SCHNEIDER, M. (1960)  
 Physiologie des Menschen.  
 "Das Atemzentrum." (S. 529 ff.)  
 "Peripheres Nervensystem." (S. 421 ff.)  
 13./14. Aufl.; Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer-Verlag
- REINHARD, H.-J.; MICKWITZ, G. v. (1967)  
 Experimentelle Untersuchungen am Schwein über die Bedeutung des Stromweges durch den Körper bei der Beurteilung von elektrischen Unfällen.  
 DTW 74, 405-407
- REINHARD, H.-J.; MICKWITZ, G. v. (1968)  
 Experimentelle Untersuchungen zur Elektroanästhesie beim Schwein. Die Wirkung verschiedener Ströme, Einschaltarten und der Lagerung der Versuchstiere auf das Elektrokardiogramm, Phonokardiogramm, den Blutdruck und die Atmung.  
 Elektromedizin Band 13/1968 Nr.3, S.98-111
- REINHARD, H.-J.; MICKWITZ, G. v. (1969a)  
 Untersuchungen an Mensch und Tier zur Verminderung der Unfallgefahr durch Verwendung von nichtsinusförmigem Wechselstrom (Teil 1).  
 Elektromedizin Band 14/1969 Nr.2, S.71-80
- REINHARD, H.-J.; MICKWITZ, G. v. (1969b)  
 Untersuchungen an Mensch und Tier zur Verminderung der Unfallgefahr durch Verwendung von nichtsinusförmigem Wechselstrom (Schluß).  
 Elektromedizin Band 14/1969 Nr.3, S.109-111
- ROOS, J.; KOOPMANS, S. (1936)  
 The value of the eye-reflex in animals submitted to the so-called electrical stunning.  
 Vet. J. 92, 127 - 137
- ROOS, J.; KOOPMANS, S. (1939)  
 Onderzoekingen naar de werking van elektrische doorstroming op dieren (Vierde nededeeling). De werking van den onderbroken gelijkstroom.  
 Tijdschr. Diergeneesk. 66, 547-565
- ROWE, R. W. D.; GREGORY, N. G.; SHAW, F. D.; SHORTHORSE, W. R. (1988)  
 Investigations on the stunning and sticking of calves: Section B:  
 The effects of different methods of stunning and sticking on blood loss in calves.  
 Meat Research Record A/88  
 Meat Research Laboratory; P.O.Box 12, Cannon Hill.; Queensland. 4170; Australia
- RUCKEBUSCH, Y. (1965)  
 The normal and pathological electroencephalogram of ruminants.  
 Proc. Roy. Soc. Med. 58, 551-552

- RUJU, P.; CASTAGNA, A.; BRANCA, P. (1967)  
Electrical Anaesthesia.  
in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium  
12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation
- SANCES, A. JR.; LARSON, S. J.; LORENZ, R. (1967)  
Analysis of rectangular and sinusoidal currents applied to model neuronal systems.  
in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium  
12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation
- SCHATZMANN, U. (1988)  
Grundsätzliches zur Betäubung.  
Swiss Vet. 5, 6-8
- SCHATZMANN, U.; HOWARD, J.; PIITINO, J.; FUCHS, P. (1993)  
Jet-Injektion zur Betäubung von Schlachtschweinen.  
Fleischwirtsch. 73, 126-128
- SCHATZMANN, U. (1996)  
Die Entwicklung einer neuen Betäubungsmethode beim Schlachtschwein mit Wasserstrahl.  
Proc. DVG-Tagung "Tötung von Tieren und Kennzeichnung von Tieren" am 14./15.3.1996  
in Nürtingen, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.; ISBN 3-930511-27-4; S.  
77-81
- SCHEID, W. (1992)  
"Anfallssyndrome"; S. 222 ff.  
In: "Lehrbuch der Neurologie"; 5. überarb. Aufl.  
W. Scheid u. Mitarb. v. E. Gibbels  
Stuttgart, New York; Georg Thieme Verlag
- SCHIEFER, G.; SCHARNER, E.; FISCHER, U. (1976)  
Untersuchungen an betäubten und nicht betäubten Schlachtschweinen. 1. Mitteilung:  
Blutdruckverhalten.  
Arch. exp. Veterinärmed. 30, 807-812
- SCHIEFER, G.; SCHARNER, E.; KLÖPPNER, F.; MÜHLBACHER, R. (1977)  
Untersuchungen an betäubten und nicht betäubten Schlachtschweinen. 2. Mitteilung: Ver-  
halten des Elektrokardiogramms.  
Arch. exp. Veterinärmed. 31, 381-387
- SCHMIDT, D. (1992)  
"Epilepsien und epileptische Anfälle"; S. 604 ff.  
In: "Lehrbuch der Neurologie"  
Hrsg. K. Kunze  
Stuttgart, New York; Georg Thieme Verlag
- SCHMIDTKE, H.-O. (1951)  
Über die Schmerzempfindung der Tiere.  
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

- SCHÖBERLEIN, L.; RENATUS, K.; LENGERKEN, G. v.; HENNEBACH, H.; ALBRECHT, V. (1979)  
 Untersuchungen zum Einfluß der Betäubung auf die Muskelfleischqualität des Schweines.  
 Arch. exp. Veterinärmed. 33, 337-345
- SCHÜTT-ABRAHAM, I.; LEVETZOW, R.; WORMUTH, H. J.; WEISE, E. (1983)  
 Aspekte der Hochvoltbetäubung von Schlachtschweinen.  
 Fleischwirtsch. 63, 387-397
- SCHÜTT-ABRAHAM, I. (1990)  
 Elektrobetäubung von Schlachtschweinen - Stellungnahme zum Verfahren der Kopf-Herz-  
 Durchströmung.  
 Fleischwirtsch. 70, 171
- SCHÜTT-ABRAHAM, I. (1994)  
 Sonderfall Geflügelbetäubung: Pute, Gans, Huhn, Ente.  
 Tierärztliche Überwachung der Schlacht tierbetäubung - Tierschutz, Betäubung, Fleisch-  
 qualität  
 Herausg.: Arbeitskreis "Betäubung und Schlachtung" der Tierärztlichen Vereinigung für  
 Tierschutz e. V.
- SCHÜTT-ABRAHAM, I.; ELLERBROEK, L.; GÜNTHER, H.; LEIRER, R.; MARTIN, G.; RASSBACH, A.;  
 WEGENER, J.; WEISE, E. (1994)  
 Fleischlieferbetriebe in Deutschland - Ergebnis der Überprüfung durch Sachverständige der  
 EG-Kommission im Jahr 1992.  
 Fleischwirtsch. 74, 927-930
- SCHÜTTE, A. (1996)  
 persönliche Mitteilung vom 20. Juli 1996
- SCHULZ, N. (1993)  
 Elektrobetäubung - Sicherheitsaspekte für handgeführte Betäubungsgeräte bei der  
 Schweineschlachtung.  
 Fleischwirtsch. 73, 268-270
- SHAW, F. D.; GREGORY, N. G.; ROWE, R. W. D. (1988)  
 Investigations on the stunning and sticking of calves: Section C:  
 Blood loss and electroencephalogram activity following unilateral and bilateral sticking of  
 calves.  
 Meat Research Record A/88  
 Meat Research Laboratory; P.O.Box 12, Cannon Hill.; Queensland. 4170; Australia
- SHORT, C. E. (1964)  
 The Application of Electroanesthesia on Large Animals: A report of 1000 Administrations.  
 Reprint  
 J. Am. Vet. Med. Ass.; 145, 1104-06
- SIEGSMUND, K. A.; SANCES, A.; LARSON, S. J. (1967)  
 The effects of electrical currents on synaptic vesicles in monkey cortex.  
 in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium  
 12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
 Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
 Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation

- SIPPEL, M. (1993)  
Untersuchung des Begriffs "Vernünftiger Grund" in den §§ 1, 17.1 und 18.1 des Tierschutzgesetzes der Bundesrepublik Deutschland.  
Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- SPECKMANN, J.; STRAUB, H. (1993)  
"5.1 Neurophysiologische Grundlagen; 5.1.1 Tierexperimentelle Modelle"; S.89 ff.  
In: "Die Epilepsien: Grundlagen, Klinik, Behandlung"  
hrsg. von W. Fröscher u. F. Vasella  
Berlin, New York; De Gruyter
- STRAATEN, J. J. (1975)  
Abolition of electrically induced cortical seizures by stereotactic thalamic lesions. (zit. nach GREGORY (1985))  
Neurology 25; 141-149
- SWATLAND, H. J. (1983)  
Measurement of electrical stunning, rate of exsanguination, and reflex activity of pigs in an abattoir.  
Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 16, 35-38
- SWATLAND, H. J.; BROGNA, R. J.; LUTTE; G. H. (1984)  
Electrical activity in the cerebral hemispheres of electrically stunned pigs.  
J. Anim. Sci. 58, 68-74
- THURMON, J. C. (1986)  
Euthanasia of Food Animals.  
Vet. Clin. North Am. (Food Anim. Pract.) 2, 743-756
- TROEGER, K.; WOLTERS DORF, W. (1988a)  
Optimierte Elektrobetäubungsverfahren für Schlachtschweine.  
Mitteilungsbl. BAFF Kulmbach; 6/88 No 100; 27, 7909 - 7917
- TROEGER, K. ; WOLTERS DORF, W. (1988b)  
Tierschutzaspekte der manuellen Elektrobetäubung von Schlachtschweinen mittels Zange.  
Mitteilungsbl. BAFF Kulmbach; 6/88 No 100; 27, 7773 - 7777
- TROEGER, K.; WOLTERS DORF, W. (1989a)  
Elektrobetäubung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein.  
Fleischwirtsch. 69, 1210-1218
- TROEGER, K. ; WOLTERS DORF, W. (1989b)  
Die Elektrobetäubung von Schlachtschweinen.  
DTW 96, 100-103
- TROEGER, K. (1990)  
Schlachten: Tierschutz und Fleischqualität.  
Fleischwirtsch. 70, 266-272
- TRÖGER, K. (1991)  
Slaughtering: animal protection and meat quality.  
Fleischwirtsch. 71, 198-302

- TROEGER, K.; NITSCH, P. (1996)  
 Spannung und Strom im Gehirn in Abhängigkeit von Frequenz und Form des Betäubungsstromes.  
 Proc. Schlachttechnologie - Workshop, 8./9. Mai 1996 in der Bundesanstalt f. Fleischforschung (BAFF), Kulmbach
- TROEGER, K. (1996)  
 Schlachten - Fleischqualität contra Tierschutz  
 Fleischwirtsch. 76, 113
- VANDEVELDE, M.; FANKHAUSER, R.; UNTER MITARB. VON LANG, J. (1987)  
 Epilepsie. (S. 256 ff.)  
 in: "Einführung in die veterinärmedizinische Neurologie."; Pareys Studentexte Nr. 57;  
 Berlin u. Hamburg, Parey 1987
- WAL, P. G. VAN DER (1978)  
 Chemical and physiological aspects of pig stunning in relation to meat quality - A review.  
 Meat Sci. 2, 19-30
- WALTER, CH. (1991)  
 Vergleichende Studien zur Elektrobetäubung beim Schlachtschwein bei alleiniger Gehirn- oder Gehirn-Herz-Durchströmung unter dem besonderen Aspekt der Fleischqualität und des Ausblutungsgrades.  
 Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- WARRINGTON, R. (1974)  
 Electrical stunning: A review of the literature.  
 Vet. Bull. 10, 617-628
- WARRIS, P. D.; WOTTON, S. B. (1981)  
 Effect of cardiac arrest on exsanguination in pigs.  
 Res. Vet. Sci. 31, 82-86
- WOLTERS DORF, W.; TROEGER, K. (1987a)  
 Schlachttechnik zur Verringerung des PSE-Anteils beim Schwein.  
 Fleischwirtsch. 67, 724 - 730
- WOLTERS DORF, W.; TROEGER, K. (1987b)  
 Betäubungs- und Entblutetechnik zur Verbesserung der Fleischbeschaffenheit.  
 Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung; 5/87; 6887-6893
- WOLTERS DORF, W. (1989)  
 Erfahrungen mit der Konstantstrombetäubung bei der Schweineschlachtung.  
 Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung; 28; S. 119-123
- WOLTERS DORF, W. (1990)  
 Aspekte des Tierschutzes und der Fleischqualität bei der manuellen Elektrobetäubung.  
 10. Int. Symp. WORLD ASS. VET. FOOD HYG. Stockholm, 2. bis 7. Juli 1989; 59-62
- WOLFE, L.S.; GELDER, N.M. VAN (1993)  
 "5.1 Neurophysiologische Grundlagen; 5.1.1 Tierexperimentelle Modelle"; S.89 ff.  
 In: "Die Epilepsien: Grundlagen, Klinik, Behandlung"  
 hrsg. von W. Fröscher u. F. Vasella  
 Berlin, New York; De Gruyter

- WORMUTH, H.-J.; SCHÜTT-ABRAHAM, I. (1986)  
Zur tierschützerischen, fleischhygienischen und rechtlichen Problematik einer mit der  
Tötung zusammenfallenden Betäubung von Schlachttieren.  
Fleischwirtsch. 66, 1420-1424
- WOTTON, S. B.; GREGORY, N. G. (1986)  
Pig slaughtering procedures: Time to loss of brain responsiveness after exsanguination or  
cardiac arrest.  
Res. Vet. Sci. 40, 148 - 151
- WOTTON, S. B.; ANIL, M. H.; WHITTINGTON, P. E.; MCKINSTRY, J. L. (1992)  
Pig slaughtering procedures: Head-to-Back Stunning.  
Meat Sci. 32, 245 - 255
- WOTTON, S. B. (1995)  
Stunning in pigs.  
Meat Focus Int. 3, 105-108
- WYSS, R. (1985)  
Die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen  
Beobachtungen, Stromverlaufsmessungen, Objektivierung des Betäubungsgrades.  
Bern, Veterinärmed. Fakult., Diss.
- ZUPERKU, E.; LARSON, S. J.; SANCES, A. JR. (1967)  
Electrical anaesthesia and the visual pathways.  
in: "Electrotherapeutic Sleep and Electroanaesthesia - Proc. of the first intern. Symposium  
12-17 Sept. 1966 in Graz (Austria)";  
Ed.: F.M. Wegeneder, S. Schuy;  
Amsterdam, New York, London, Milan, Tokyo, Buenos Aires; Excerta Medica Foundation