

# Methoden der Narkosetiefenbestimmung beim Pferd - II. Elektroenzephalographie

K. Otto<sup>1</sup>, Susannne Voigt<sup>2</sup>, E. Deegen<sup>2</sup>, S. Piepenbrock<sup>1</sup>, und Julia Sabiel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abt. Anästhesiologie II, Zentrum Anästhesiologie, Medizinische Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. S. Piepenbrock)

<sup>2</sup> Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. E. Deegen)

## Einleitung

Allgemeinanästhetika führen durch eine dosisabhängige, reversible Dämpfung (Barbiturate, Diäthyläther, Halothan, Isofluran) oder Erregung (Lachgas, Ketamin, Enfluran) der zentralnervösen Funktionen zu Bewußtlosigkeit und Analgesie (Shapiro 1986, Winters 1976). Die Dämpfung der neuronalen Aktivität durch Anästhetika (Messick et al. 1985) wird von einer Senkung der zerebralen Stoffwechselrate und Perfusion (Michenfelder 1974, Newberg et al. 1983) sowie von der im Elektroenzephalogramm (EEG) feststellbaren Verringerung der zerebrokortikalen elektrischen Aktivität begleitet (Clark und Rosner 1973, Kiersey et al. 1951). Da die Dämpfung der zerebrokortikalen elektrischen Aktivität in direktem Zusammenhang mit der Narkosetiefe steht (Stanski 1990), ist durch die Elektroenzephalographie die Möglichkeit der nichtinvasiven, kontinuierlichen und quantitativen Beurteilung der Narkosetiefe gegeben (Homer und Stanski 1985, Pichlmayr et al. 1983, Schwilden et al. 1987).

Während der elektroenzephalographischen Überwachung der Narkoseeinleitung und -durchführung mit Thiopental (Kiersey et al. 1951) oder Halothan (Pichlmayr und Lips 1980) konnte gezeigt werden, daß nach dem anfänglichen Auftreten hochfrequenter Wellen mit geringer Amplitude als Zeichen der Exzitation (Aktivierungsphase), die fortschreitende Narkosevertiefung durch das vermehrte Erscheinen niedrigfrequenter, hochamplitudiger Wellen signalisiert wurde. Diese für den Humanpatienten beschriebenen EEG-Veränderungen konnten auch bei der Inhalationsnarkose des Pferdes beobachtet werden (Auer et al. 1979, Schneider et al. 1981). Bei jedem der von Auer und Mitarbeitern (1979) an Ponies untersuchten Inhalationsanästhetika Isofluran, Enfluran, Methoxyfluran und Halothan war eine Narkosevertiefung dadurch gekennzeichnet, daß hochfrequente, niedrigamplitudige Wellen zunehmend durch ein niedrigfrequentes und hochamplitudiges EEG-Muster ersetzt wurden.

## Zusammenfassung

Die durch Anästhetika induzierte Veränderung der zerebrokortikalen Aktivität steht in direktem Zusammenhang mit der Narkosetiefe, so daß die Elektroenzephalographie zur Narkoseüberwachung eingesetzt werden kann. Im Vergleich zu dem konventionellen EEG-Verfahren bietet die computergestützte EEG-Spektralanalyse den wesentlichen Vorteil, daß komplexe EEG-Daten in kurzer Zeit übersichtlich darstellbar sind und dadurch selbst kleinste EEG-Veränderungen schnell identifiziert werden können. Des Weiteren werden durch die Spektralparameter numerische Daten geliefert, die eine unmittelbare quantitative Bewertung der elektrischen Hirnrindenaktivität ermöglichen. Anhand von Beispielen werden EEG-Muster vorgestellt, wie sie bei einer adäquat tiefen Allgemeinnarkose mit Isofluran, bei einem intensiven chirurgischen Stimulus, während der Aufwachphase aus der Allgemeinnarkose sowie bei einer ausgeprägten zerebrokortikalen Dämpfung zu finden sind.

**Schlüsselwörter:** Beurteilung der Narkosetiefe, EEG-Spektralanalyse

## Methods of Monitoring the Depth of Anaesthesia in Horses - II. Electroencephalography

General anaesthetics cause dose-related reversible depression and/or excitation of central nervous system function resulting in unconsciousness and analgesia. Since changes in central nervous system function are well correlated with changes in cerebrocortical electrical activity EEG can be used for the assessment of depth of anaesthesia.

EEG power spectrum analysis was performed in adult horses anaesthetized with isoflurane in oxygen. Examples for changes in EEG compressed spectral array (CSA), quantitated EEG variables (80% spectral edge frequency, median power frequency, beta/delta ratio of fractional power), and in raw EEG signals recorded at an adequate level of anaesthesia, during intense surgical stimulation, and during recovery from general anaesthesia are presented. A stable delta EEG pattern, EEG arousal reaction characterized by an appreciable rightward shift in EEG activity and increase in quantitated EEG variables, as well as burst suppression periods as long as 7.5 seconds were recorded during surgical procedures in different horses anaesthetized with isoflurane at end-tidal concentrations between 1.3 and 1.7%. Changes in CSA and quantitated EEG variables recorded during arousal from intense surgical stimulation were very similar to EEG changes recorded in unstimulated horses during recovery from general anaesthesia. We found that EEG power spectrum analysis is a useful means for assessment of adequacy of isoflurane anaesthesia in horses.

**keywords:** Depth of anaesthesia, EEG power spectrum analysis

Während einer tiefen Allgemeinanästhesie mit Thiopental (Kiersey et al. 1951), aber auch bei klinisch relevanten Isoflurankonzentrationen (Auer et al. 1979, Eger et al. 1971, Schwartz et al. 1989, Schwilden und Stoeckel 1987) sind „Burst-Suppressionen“ (flache Strecken elektrischer Inaktivität, unterbrochen durch einzelne hochamplitudige Aktivitätsausbrüche = Bursts) als Ausdruck einer ausgeprägten zentralnervösen Dämpfung im EEG feststellbar. Jede weitere Vertiefung der Narkose führt zum völligen Sistieren der zerebrokortikalen elektrischen Aktivität (Isoelektrizität)

(Eger et al. 1971, Kiersey et al. 1951, Newberg et al. 1983). „Burst-Suppressionen“ oder Isoelektrizität reflektieren nicht nur eine durch Anästhetika (Thiopental, Isofluran) induzierte hochgradige Reduktion der zerebralen Stoffwechselrate (Michenfelder 1974, Newberg et al. 1983) sondern können auch Ausdruck einer zerebralen Ischämie (Shapiro 1986), Hypoxie (Schneider et al. 1981, Shapiro 1986) oder Hypothermie (Michenfelder und Milde 1991) sein. Aus diesem Grund sollten bei dem Einsatz der Elektroenzephalographie zur Überwachung der Narkosetiefe der arterielle Mitteldruck als Approximation des zerebralen Perfusionsdrucks, die arteriellen Blutgasparameter PaO<sub>2</sub> und PaCO<sub>2</sub> und die Körpertemperatur kontrolliert und im Normbereich gehalten werden (Grundy 1989, Michenfelder 1988). Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, daß die einzelnen Anästhetika in äquipotenten Konzentrationen zu quantitativ unterschiedlichen Veränderungen der Amplituden und Frequenzwerte im Enzephalogramm führen (Auer et al. 1979, Clark und Rosner 1973, Ekström et al. 1993). In flacher Allgemeinnarkose durchgeführte Stimulationen wie die Laryngoskopie mit anschließender endotrachealer Intubation (Pichlmayr und Lips 1980), Zug am Peritoneum oder Mesenterium (Bimar und Bellville 1977) oder das Erwecken aus der Allgemeinanästhesie (Eger et al. 1971) sind durch eine im Elektroenzephalogramm feststellbare „Weckreaktion“ erkennbar, die durch das plötzliche Auftreten hochfrequenter Wellen geringerer Amplitude charakterisiert sind.

Zusätzlich zu der beim Pferd für die Beurteilung von Anästhetikawirkungen eingesetzten konventionellen EEG-Technik (Auer et al. 1979, Schneider et al. 1981, Purohit et al. 1981), bei der die elektrischen Signale als kontinuierliche Zeitfunktion dargestellt werden, konnte bei dieser Spezies in den letzten Jahren auch die computergestützte EEG-Spektralanalyse etabliert werden (Ekström et al. 1993, Johnson et al. 1994, Otto und Short 1991, Otto et al. 1993, Short et al. 1989). Ein wesentlicher Vorteil dieses Analyseverfahrens ist die schnelle und übersichtliche Darstellung komplexer EEG-Daten, die die Identifikation selbst kleinster EEG-Veränderungen vereinfacht (Levy et al. 1980).

In der vorliegenden Arbeit werden anhand von Beispielen EEG-Veränderungen in Abhängigkeit von der Narkosetiefe beim Pferd dargestellt.

## Material und Methode

EEG-Untersuchungen während der Inhalationsnarkose mit Isofluran (Forene®, Abbott, Wiesbaden) sind bei 32 adulten (> 1 Jahr) Pferden unter Verwendung eines halbgeschlossenen Narkosekreissystems für Großtiere (Narkovet E, Drägerwerk AG, Lübeck) und eines isofluranspezifischen Präzisionsverdampfers (Vapor 19.1®, Dräger AG, Lübeck) durchgeführt worden. Die Pferde wurden zu Be-

ginn der Narkose assistiert, dann kontrolliert beatmet (Respirator L. A. 70, Smith, Undlöse, Denmark).

Die kontinuierliche Messung der endexpiratorischen Isofluran- (ISO<sub>ET</sub>) und Kohlendioxidkonzentration (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) erfolgte mit Hilfe der Infrarotmeßtechnik im Seitenstromverfahren (Capnomac®, Datex Instrumentarium Corp., Helsinki, Finland; Vertrieb in Deutschland: Hoyer Medizintechnik, Bremen). Der Gasprobenschlauch wurde bis an das distale Ende des Endotrachealtubus vorgeschoben. Der arterielle Blutdruck wurde nach perkutaner Punktion der A. facialis mit einer 20G Verweilkantile (Vasculon® 2, Vigggo Spectromed, Helsingborg, Sweden; Vertrieb in Deutschland: Ohmeda GmbH & Co KG, Erlangen) unter Verwendung eines Transducers (Druckwandler) (4-327-I Physiological Pressure Transducer, Bell & Howell Co., Pasadena, CA., U.S.A.) direkt gemessen. Arterieller Blutdruck und Elektrokardiogramm wurden kontinuierlich überwacht (Mennen Greatbatch 741; Mennen Medical Inc., Clarence, N.Y., U.S.A.; Vertrieb in Deutschland: Mennen Medical GmbH, Heusenstamm).

## Elektroenzephalographie

Für die EEG-Ableitung wurden fünf Nadelelektroden (Madaus Schwarzer GmbH & Co KG, München) nach dem in Abbildung 1 dargestellten Schema (modifiziert nach Mysinger et al. 1985, Otto und Short 1991) subkutan in der Medianen über den Os nasale und bilateral über dem Os frontale und Os parietale plaziert. Als Markierungspunkt für die Referenzelektrode (R) verwendeten wir den Schnittpunkt der Verbindungslinie zwischen den medialen Lidwinkeln beider Augen mit der Medianebene des Kopfes. Die Einstichpunkte für die Elektroden C3 und C4 waren jeweils 3 cm links bzw. rechts der Medianebene auf einer Verbindungslinie zwischen dem links- und rechtsseitigen Processus zygomaticus lokalisiert. Die Elektroden P3 und P4 wurden jeweils 3 cm beiderseits der Medianebene und 7 cm caudal von C3 bzw. C4 plaziert. Die gemessenen Elektrodenwiderstände waren < 5 kOhm.

## EEG-Spektralanalyse

Die einzelnen Schritte der EEG-Signalverarbeitung sind stark schematisiert in Abbildung 2 dargestellt. Mit Hilfe der computergestützten EEG-Analyse werden EEG-Signale in ihre Frequenzkomponenten aufgespalten. Das Original-(Roh-)signal, dessen Amplitude eine Funktion der Zeit ist, wird in ein Leistungs- (Power-)spektrum umgewandelt, dessen Amplitude eine Funktion der Frequenz ist (Cooper et al. 1984). Bei dem von uns verwendeten Gerät (Ingenieurbüro Jäckel, 6450 Hanau 6) wird das Originalsignal nach Verstärkung, Regelung der unteren und oberen Grenzfrequenz mittels eines Hochpaß- (Zeitkonstante: 0,3 sec; entspricht 0,53 Hz) (Pichlmayr et al. 1983) bzw. Tiefpaßfilters (40 Hz) und der Elimination von 50-Hz-Einstreuungen durch einen „Notch-Filter“ der Spektralanalyse zugeführt. Bei dieser wird ein jeweils 2 Sekunden (Levy 1984 und 1987) langes Teilstück des Original-EEG-Signals

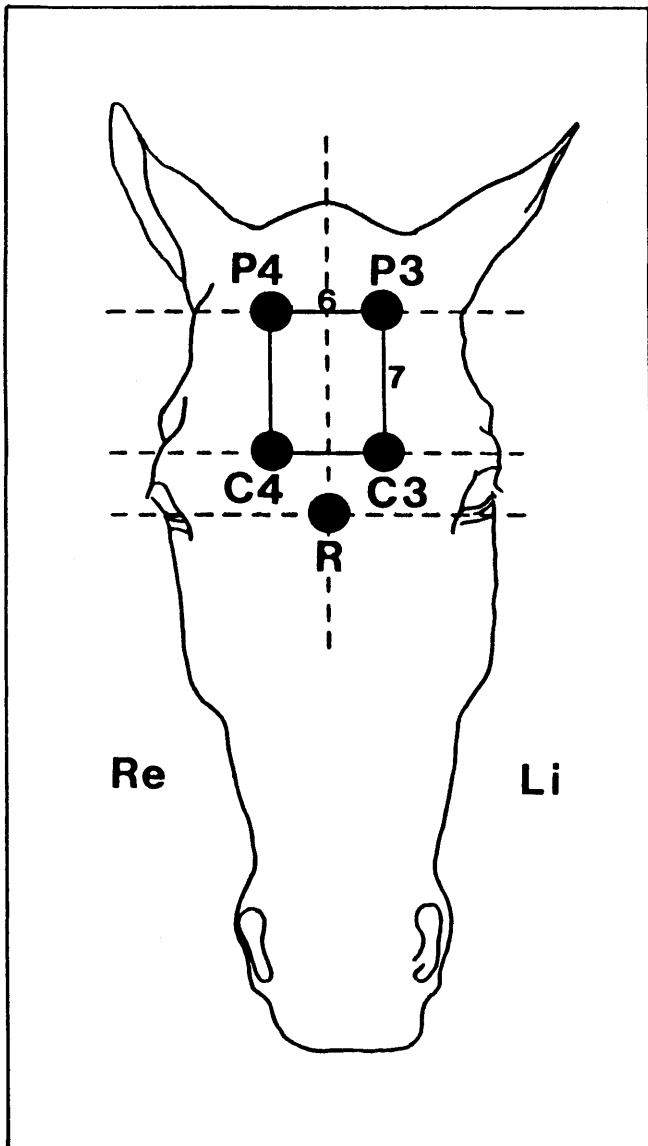


Abb. 1: Schematische Darstellung der bipolaren EEG-Ableitung (modifiziert nach Mysinger et al. 1985, Otto und Short 1991)

Schematic representation of bipolar EEG diversion.

(Epoche, Sweep) über einen Analog-Digital-Konverter (ADC) mit einer Frequenz von 512 Hz abgetastet und quantisiert. Die Berechnung des Leistungsspektrums erfolgt dann durch die „Fast-Fourier-Transformation“ (FFT). Mit Hilfe dieses Algorithmus kann die Fourierreihenanalyse für ein Signal im Bruchteil einer Sekunde durchgeführt werden (Cooper et al. 1984). Nach der Berechnung des Leistungsspektrums wird die Verteilung der Leistung ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) in die einzelnen Frequenzbänder (Delta: 1–4 Hz, Theta: 4–8 Hz, Alpha: 8–13 Hz, Beta: 13–30 Hz) graphisch als „Compressed Spectral Array“ (CSA) (=komprimierte Spektraldarstellung) und numerisch in Form verschiedener Spektralparameter dargestellt.

Für die Beurteilung der sich während der Anästhesie einstellenden Veränderungen der elektrischen Hirnrindenaktivität verwendeten wir die 80 % „Spectral Edge Frequency“

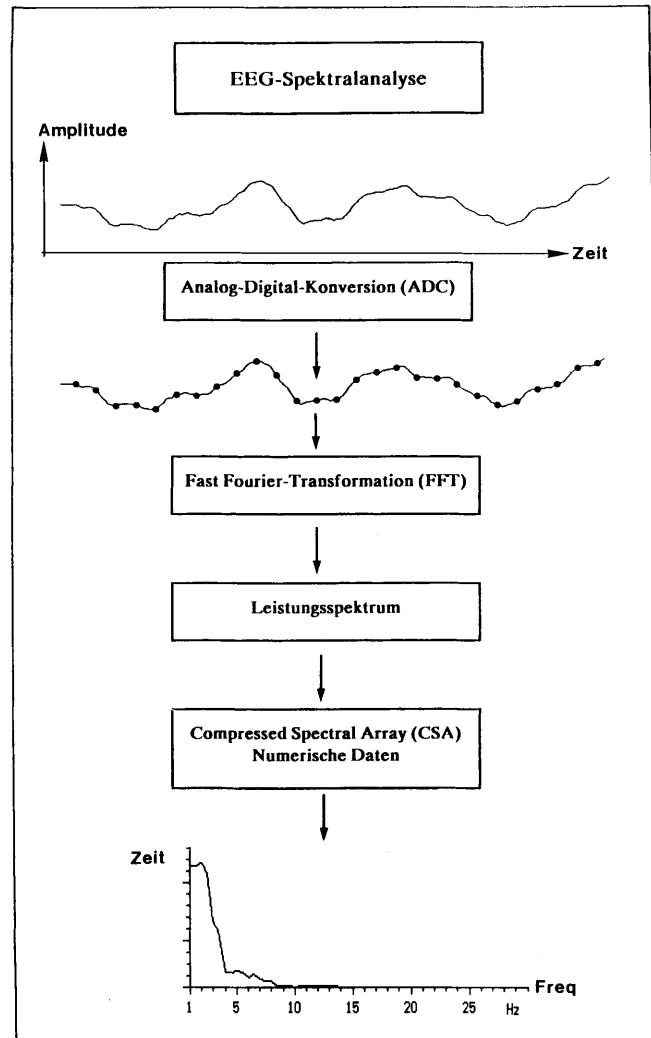
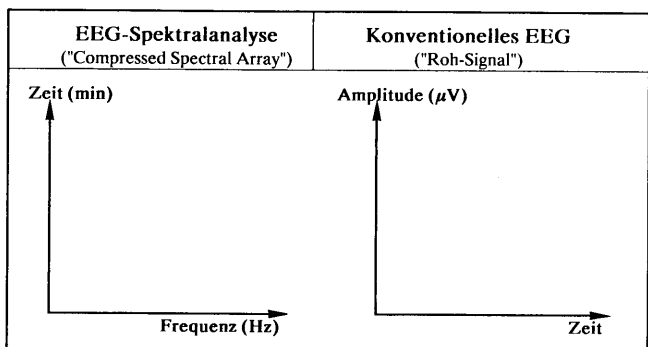


Abb. 2: Schematisierte Darstellung der einzelnen Schritte der EEG-Signalverarbeitung bei der EEG-Spektralanalyse. Das Original-EEG-Signal (Rohoder Zeitsignal) ist in dem oberen Teil der Abbildung dargestellt. Nach Signalanalyse wird die Verteilung der Leistung im Leistungsspektrum in Form des „Compressed Spectral Array“ (CSA = komprimierte Spektraldarstellung) wiedergegeben (untere Graphik).

Schematic representation of separate steps in the EEG signal interpretation with EEG spectralanalysis. The original EEG signal is shown in the upper part of the illustration. After the analysis of the pattern the results are described in form of the compressed spectral array in the lower graphic.

(SEF80) (Rampil et al. 1980, White und Boyle 1989, Otto und Short 1991), definiert als der Frequenzpunkt im Leistungsspektrum, unterhalb dem 80 % der Leistung lokalisiert sind (=80 %-Quantil), den Median (MED: 50 %-Quantil) (Long et al. 1989, Schwilden und Stoeckel 1980) und den Beta-Delta-Index (Beta/Delta) (Long et al. 1989, Schwilden und Stoeckel 1980) als den Quotienten aus der Leistung im Beta- und Delta-Frequenzband sowie die Verteilung der Leistung in die einzelnen Frequenzbänder. Es wurden jeweils 10 Epochen à 2 Sekunden Dauer in einem Intervall von 1 Minute aufgezeichnet.



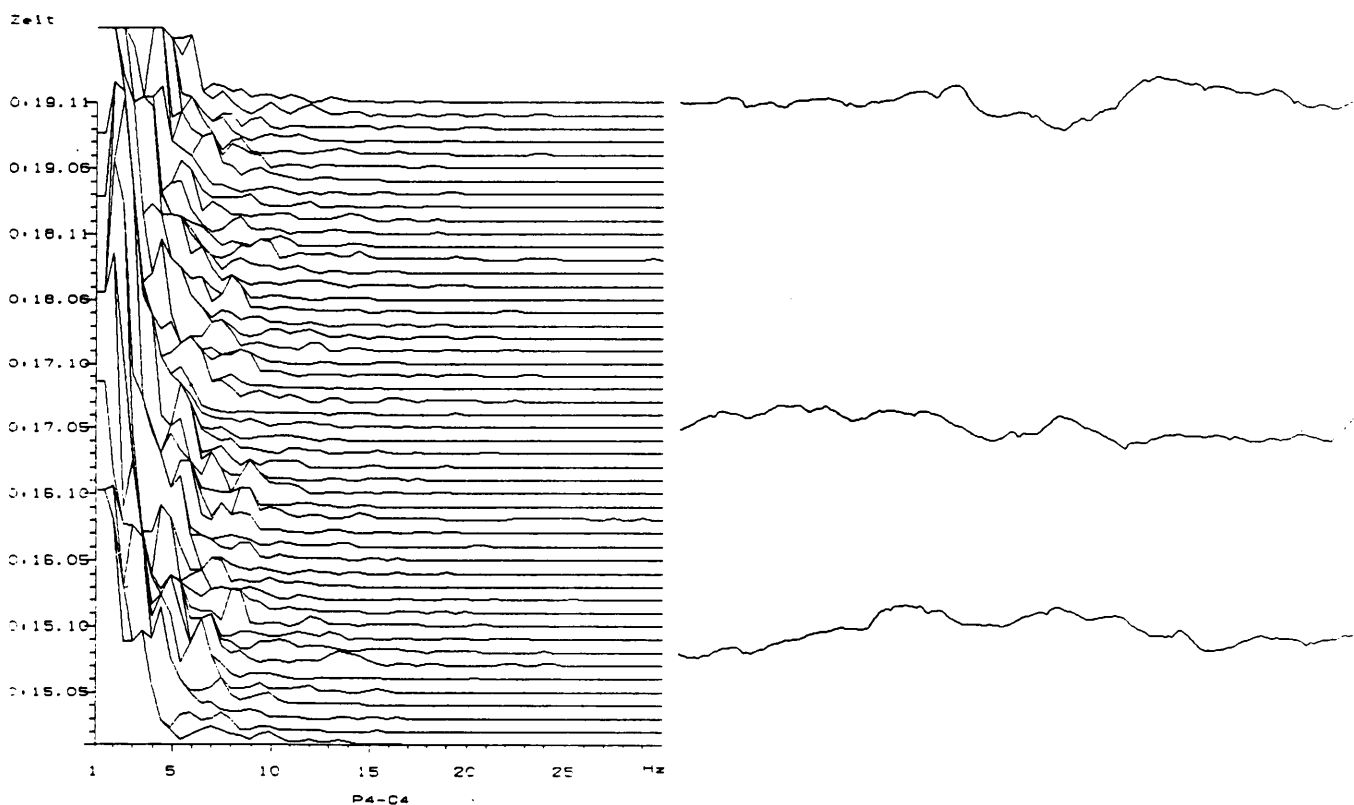
**Abb. 3:** Bedeutung von Ordinate und Abszisse bei der EEG-Darstellung im „Compressed Spectral Array“ (Amplitude als Funktion der Frequenz:  $\mu V^2/Hz$ ) und als Rohsignal (Amplitude als Funktion der Zeit).

Significance of ordinate and abscissa in the EEG presentation of compressed spectral array.

der Ordinate und Abszisse in diesen Abbildungen ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

Das während einer Kastration über einen Zeitraum von ca. 4 Minuten aufgenommene Elektroenzephalogramm ist in Abbildung 4 dargestellt. Auf der linken Seite dieser Abbildung ist das Elektroenzephalogramm in Form des sogenannten „Compressed Spectral Array“ (CSA) wiedergegeben. Das zu drei verschiedenen Zeitpunkten in der konventionellen Form aufgezeichnete EEG (Dauer: jeweils 1 Sekunde) befindet sich auf der rechten Seite der Abbildung. Die dazugehörigen numerischen Daten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. An dem CSA ist zu erkennen, daß die Hauptaktivität fast konstant in dem Delta-Frequenzband lokalisiert ist, dargestellt durch das hohe „Spektralgebirge“ in dem Bereich 1–4 Hz. Entsprechend weisen die Spektralparameter zu den drei verschiedenen Zeitpunkten SEF80

part16b Seite: 4 11-05-94 Y-Skala: 3.50 G18tt: 2 relativ  
 Pat. Name: IDN:1421 Alter: 10.2M Code Nr: # HdText4: x  
 KASTR



**Abb. 4:** EEG-Aufzeichnung einer Ableitung (P4-C4) über die Dauer von ca. 4 Minuten (0.15.00–0.19.11) während einer Kastration. Auf der linken Seite der Abbildung ist das EEG als „Compressed Spectral Array“ (CSA) dargestellt. Zum Vergleich sind 3 Originalsignale (Dauer: je 1 sec.) auf der rechten Seite abgebildet. Die Hauptaktivität ist in den unteren Frequenzbereichen (ca. 1–4 Hz) lokalisiert. Das CSA und die korrespondierenden numerischen Werte der Spektralparameter (Tab. 1) deuten auf eine ausreichend tiefe Isoflurannarkose hin.

EEG recording of a (P4-C4) diversion for a period of about 4 minutes (0.15.00–0.19.11) during a kastration. The left side of the diagramm represents the CSA EEG. To be able to compare 3 original patterns are shown on the right side. The main activity is found in lower frequency ranges. The CSA and the corresponding numerical data reveals information on the sufficient depth of the isoflurane anaesthetica.

**Ergebnisse**

Beispiele der während der Anästhesien oder Aufwachphasen aufgezeichneten Elektroenzephalogramme werden in den Abbildungen 4 bis 7 wiedergegeben. Die Bedeutung

(4,5–6,0 Hz), MED (3,0–3,5 Hz) und Beta/Delta (0,01–0,04) niedrige numerische Werte auf.

Eine deutliche Reaktion auf den chirurgischen Stimulus wird in dem in Abbildung 5 dargestellten CSA durch die

**Tab. 1:** EEG-Spektralparameter während der Inhalationsnarkose mit Isofluran beim Pferd.

EEG spectralparameter during anaesthesia with isoflurane in horses.

|   |                  |          |             |                              |
|---|------------------|----------|-------------|------------------------------|
| OP: Kastration  | ALTER: 1,2 Jahre |          | KGW: 380 kg |                              |
| <b>Narkosebedingungen:</b> (z.Z. der EEG-Aufzeichnung)<br>ISO <sub>ET</sub> : 1,7%; PETCO <sub>2</sub> : 46 mm Hg; Temp.: 37,0 °C; Part.: 72 mm Hg; HF: 49/min  |                  |          |             |                              |
| <b>EEG-Spektralparameter</b>  |                  |          |             |                              |
| Zeitpunkt   | SEF80 (Hz)       | MED (Hz) | Beta/Delta  | Leistungsverteilung          |
| 15.08   | 6,0              | 3,0      | 0,04        | Delta > Theta > Alpha > Beta |
| 17.05   | 4,5              | 3,0      | 0,01        | Delta > Theta > Alpha > Beta |
| 19.11   | 6,0              | 3,5      | 0,03        | Delta > Theta > Alpha > Beta |
| ISO <sub>ET</sub> : endexpir. Isoflurankonzentration; P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> : endexpir. CO <sub>2</sub> -Partialdruck; Part: arterieller Mitteldruck; HF: Herzfrequenz; SEF 80: 80% Spectral Edge Frequency; MED: Median Frequenz; Verteilung der Leistung in die einzelnen Frequenzbänder. |                  |          |             |                              |

Aktivitätszunahme in dem Beta-Frequenzbereich 13 bis 30 Hz zu den Zeitpunkten 04.03 bis 05.10 (Pfeile) und durch das starke Ansteigen der numerischen Werte der Spektralparameter SEF80, MED und Beta/Delta (Tab. 2) angezeigt.

Diese durch einen intensiven chirurgischen Stimulus im Elektroenzephalogramm auslösbare „Weckreaktion“ ist ver-

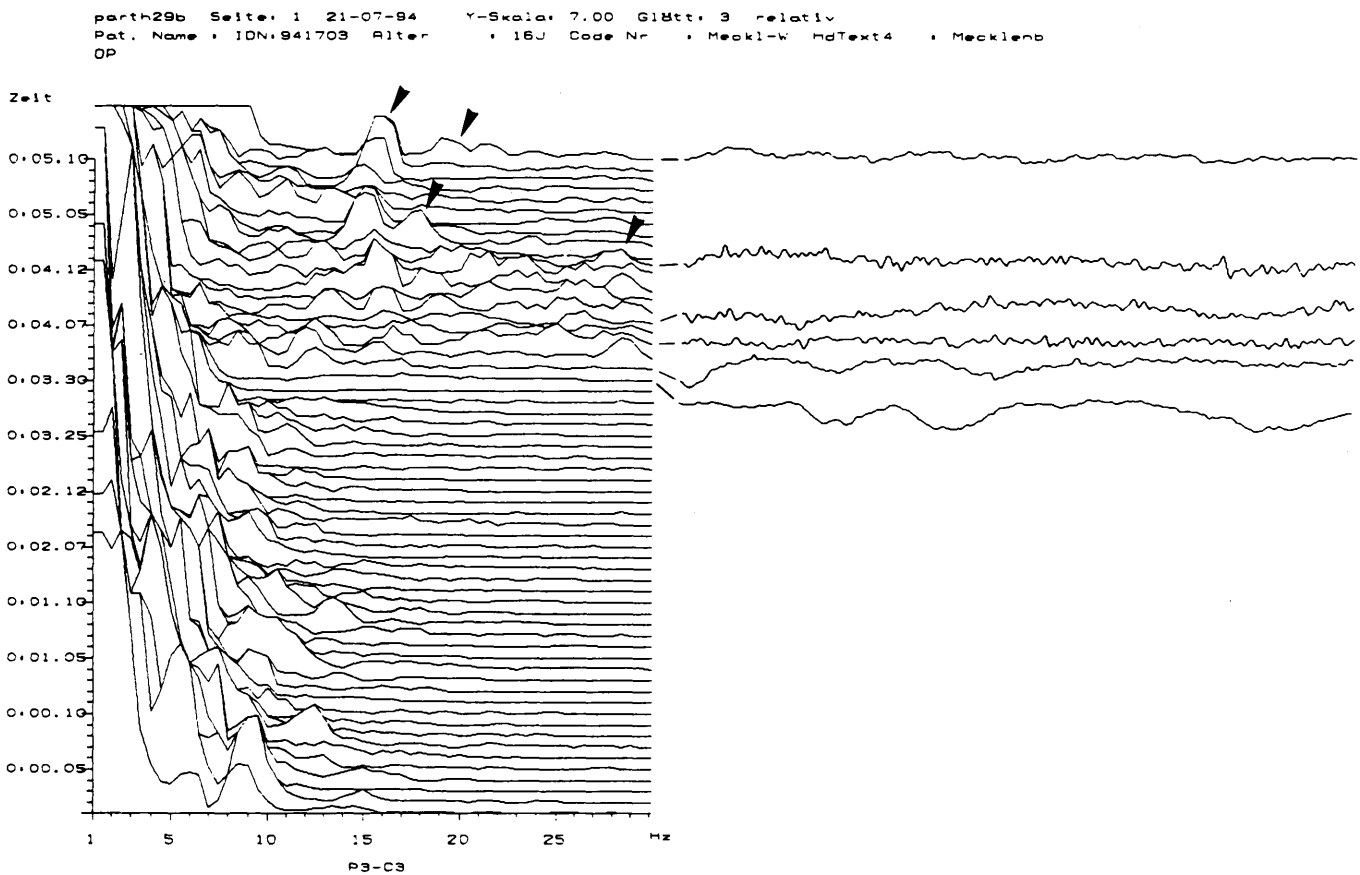
gleichbar mit den EEG-Veränderungen, wie sie am Ende einer normalen Aufwachphase festgestellt wurden (Abb. 6, Tab. 3).

In dem in Abbildung 7 in der konventionellen Form dargestellten EEG-Signal (Dauer: 1 Sekunde) sind in beiden Ableitungen flache Strecken elektrischer Inaktivität, unterbrochen durch einen einzelnen hochamplitudigen Frequenz-

**Tab. 2:** EEG-Spektralparameter während der Inhalationsnarkose mit Isofluran beim Pferd

EEG spectralparameter during anaesthesia with isoflurane in horses.

|  |                 |          |             |                              |
|--|-----------------|----------|-------------|------------------------------|
| OP: Sehnenscheide  | ALTER: 16 Jahre |          | KGW: 600 kg |                              |
| <b>Narkosebedingungen:</b> (z.Z. der EEG-Aufzeichnung)<br>ISO <sub>ET</sub> : 1,3%; P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> : 36 mm Hg; Temp.: 36,2 °C; Part.: 79 mm Hg; HF: 34/min  |                 |          |             |                              |
| <b>EEG-Spektralparameter</b>   |                 |          |             |                              |
| Zeitpunkt  | SEF80 (Hz)      | MED (Hz) | Beta/Delta  | Leistungsverteilung          |
| 03.30  | 4,5             | 2,5      | 0,04        | Delta > Theta > Beta > Alpha |
| 04.03  | 9,0             | 5,0      | 0,16        | Delta > Theta > Alpha > Beta |
| 04.12  | (30,0)          | 7,0      | 0,48        | Delta > Theta > Beta > Alpha |
| 05.10  | 17,0            | 6,0      | 0,30        | Delta > Theta > Beta > Alpha |
| ISO <sub>ET</sub> : endexpir. Isoflurankonzentration; P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> : endexpir. CO <sub>2</sub> -Partialdruck; Part: arterieller Mitteldruck; HF: Herzfrequenz; SEF 80: Spectral Edge Frequency; MED: Median Frequenz; Verteilung der Leistung in die einzelnen Frequenzbänder.<br>( ) nicht als aktuelle Daten zu verwenden, da SEF80 und MED möglicherweise oberhalb des beobachteten Bereichs von 1 – 30 Hz liegen. |                 |          |             |                              |



**Abb. 5:** EEG-Aufzeichnung einer Ableitung (P3-C3) über die Dauer von ca 5 Minuten (0-0.05.10) während einer Arthroskopie.. Auf der linken Seite der Abbildung ist das EEG als „Compressed Spectral Array“ (CSA) dargestellt. Zum Vergleich sind 6 Originalsignale (Dauer: je 1 sec.) auf der rechten Seite abgebildet. Die Pfeile markieren eine Leistungszunahme im Beta-Frequenzbereich (13-30 Hz). Das CSA und die korrespondierenden numerischen Werte der Spektralparameter (Tab. 2) deuten auf eine stimulationsinduzierte „Weckreaktion“ hin.

EEG recording of a (P3-C3) diversion for a period of about 5 minutes (0-0.05.10) during surgical treatment of an arthroscopy. The left side of the diagram represents the CSA EEG. On the right side 6 original patterns are shown. The arrows mark increase in the beta frequency range. The CSA and the corresponding numerical data indicate an awakening which was induced by stimulation.

ausbruch („Burst“), dargestellt. Die entsprechenden Spektralparameter sind in Tabelle 4 aufgeführt. Im Verlauf der Narkose konnten bei demselben Pferd Phasen elektrischer Inaktivität bis zu einer Dauer von ca. 7,5 Sekunden beobachtet werden. Auf Grund der bestehenden Bedingungen (arterieller Mitteldruck: 70-75 mm Hg, Temperatur: 36,1-36,2 °C,  $P_{ET}CO_2$ : 44-47 mm Hg) und der anschließend durchgeführten arteriellen Blutgasanalyse ( $PaCO_2$ : 55,9 mm Hg,  $PaO_2$ : 284,6 mm Hg) ist es unwahrscheinlich, daß die ausgeprägte Dämpfung der zerebrokortikalen Aktivität Folge einer zerebralen Hypoperfusion, Hypoxie, Hyperkapnie oder Hypothermie war.

## Diskussion

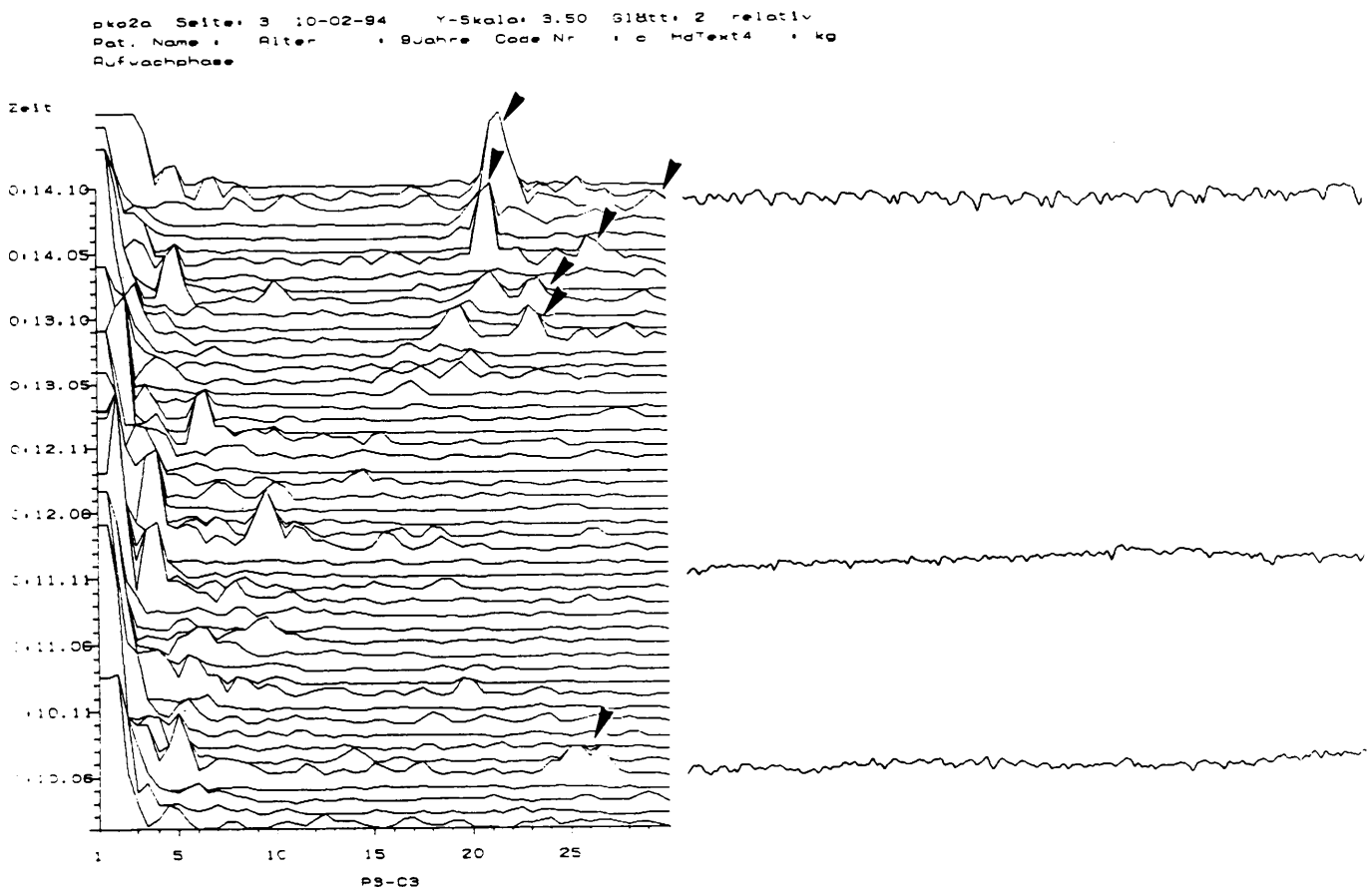
Durch die Vielzahl der in den vergangenen Jahren während der Allgemeinnarkose beim Pferd durchgeführten elektroenzephalographischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die derzeit bei dieser Spezies häufig eingesetz-

ten volatilen Anästhetika zu dosisabhängigen, charakteristischen Veränderungen im Elektroenzephalogramm führen (Auer et al. 1979, Johnson et al. 1994, Otto und Short 1991, Schneider et al. 1981, Short et al. 1989), die den bei Humanpatienten beschriebenen Veränderungen entsprechen. Bei zunehmender Narkosevertiefung erfolgt eine EEG-Verlangsamung, die mit dem vermehrten Auftreten hochamplitudiger Wellen und Frequenzverlangsamung verbunden ist (Auer et al. 1979, Eger et al. 1971, Oshima et al. 1981, Schneider et al. 1981). Im „Compressed Spectral Array“ (CSA) der EEG-Spektralanalyse stellt sich diese fortschreitende Dämpfung der Hirnrindenaktivität als eine Linksverlagerung der Leistung aus dem Alpha- und Beta-Band in den Theta- und Delta-Frequenzbereich dar (Pichlmayr und Lips 1980, Levy et al. 1980, Schwilden und Stoeckel 1980). Damit verbunden ist die Abnahme der numerischen Werte der Spektralparameter „Spectral Edge Frequency“ (Rampil et al. 1980, Otto und Short 1991), Median Frequenz (Schwilden und Stoeckel 1980) und Beta-Delta-Index (Schwilden und Stoeckel 1980, Otto und Short 1991). Der Zustand einer adäquat tiefen Narkose beim Pferd wird

**Tab. 3:** EEG-Spektralparameter in der Aufwachphase nach einer Kolik-OP beim Pferd  
 EEG spectralparameter during awakening after colic surgery.

| Aufwachphase nach Kolik-OP |                       |          |            |                              |
|----------------------------|-----------------------|----------|------------|------------------------------|
|                            | EEG-Spektralparameter |          |            |                              |
| Zeitpunkt                  | SEF80 (Hz)            | MED (Hz) | Beta/Delta | Leistungsverteilung          |
| 10.06                      | (30,0)                | 9,0      | 0,57       | Delta > Beta > Theta > Alpha |
| 11.11                      | 5,0                   | 1,5      | 0,07       | Delta > Beta > Theta > Alpha |
| 14.08                      | (30,0)                | 22,0     | 1,67       | Beta > Delta > Theta > Alpha |

SEF80: 80% Spectral Edge Frequency; MED: Median Frequenz; Verteilung der Leistung in die einzelner Frequenzbänder;  
 ( ) nicht als aktuelle Daten zu verwenden, da SEF80 möglicherweise oberhalb des beobachteten Bereichs von 1 - 30 Hz liegt.



**Abb. 6:** EEG-Aufzeichnung einer Ableitung (P3-C3) über die Dauer von ca. 4 Minuten (0.10.01-0.14.10) während der Aufwachphase aus der Narkose. Auf der linken Seite der Abbildung ist das EEG als „Compressed Spectral Array“ (CSA) dargestellt. Zum Vergleich sind 3 Originalsignale (Dauer: je 1 sec.) auf der rechten Seite abgebildet. Die Pfeile markieren eine Leistungszunahme überwiegend im oberen Beta-Frequenzbereich (ca. 20-30 Hz). „Weckreaktion“ infolge Narkoseabflachung. Die korrespondierenden numerischen Werte der Spektralparameter sind in Tabelle 3 aufgeführt.

EEG recording of a (P3-C3) diversion for a period of about 4 minutes (0.10.01-0.14.10) during waking up out of anaesthesia. The left side of the diagramm represents the CSA EEG. On the right side 3 original patterns are shown. The marking arrows point out increases mainly in the beta frequency range. Awakening as a result of decreasing anaesthesia. The corresponding numerical data are listed in table no. 3.

**Tab. 4:** EEG-Spektralparameter während der Inhalationsnarkose mit Isofluran beim Pferd

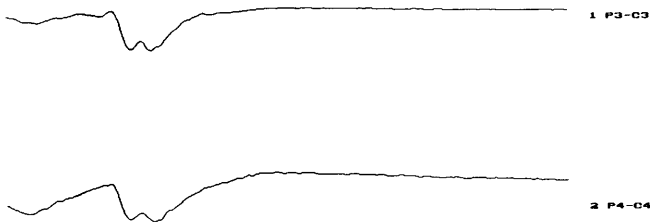
EEG spectralparameter during anaesthesia with isoflurane in horses.

|   |                |          |             |                              |
|---|----------------|----------|-------------|------------------------------|
| OP: Kastration  | ALTER: 4 Jahre |          | KGW: 560 kg |                              |
| <b>Narkosebedingungen:</b> (z.Z. der EEG-Aufzeichnung)<br>ISO <sub>ET</sub> : 1,7%; P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> : 47 mm Hg; Temp.: 36,2 °C; Part.: 70 mm Hg; HF: 31/min   |                |          |             |                              |
| <b>EEG-Spektralparameter</b>  |                |          |             |                              |
| Zeitpunkt   | SEF80 (Hz)     | MED (Hz) | Beta/Delta  | Leistungsverteilung          |
| 01.10   | 6,5            | 3,5      | 0,03        | Delta > Theta > Alpha > Beta |
| ISO <sub>ET</sub> : endexpir. Isoflurankonzentration; P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> : endexpir. CO <sub>2</sub> -Partialdruck; Part: arterieller Mitteldruck; HF: Herzfrequenz; SEF 80: 80% Spectral Edge Frequency; MED: Median Frequenz; Verteilung der Leistung in die einzelnen Frequenzbänder. |                |          |             |                              |

durch den hohen Leistungsanteil im Delta-Frequenzbereich in Abbildung 4 sowie durch die niedrigen numerischen Werte der Spektralparameter SEF80, MED und Beta/Delta angezeigt.

Die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten „Weckreaktionen“, die bei konstanter Narkosetiefe durch einen intensiven chirurgischen Stimulus (*Bimar und Bellville 1977*) oder in der Aufwachphase durch die fortschreitende Verringerung der Narkosetiefe (*Long et al. 1989*) ausgelöst werden, sind durch das Auftreten hochfrequenter Wellen niedriger Amplitude sowie durch eine Rechtsverschiebung der Leistung im CSA charakterisiert. Die im CSA auftretende Rechtsverlagerung der Leistung wird von einem Anstieg der numerischen Werte der einzelnen Spektralparameter begleitet (*Long et al. 1989, Schwilden und Stoeckel 1980*).

Bei den in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten EEG-Veränderungen sollte berücksichtigt werden, daß die im Verlauf einer Narkoseabflachung im CSA sichtbare Zunahme der Beta-Aktivität u. a. durch Muskelzittern (*M. temporalis*) mit verursacht sein kann. (*Long et al. 1989*).



**Abb. 7:** Konventionelles EEG-Signal in beiden Ableitungen (Dauer: 1 sec.). Flache Strecken elektrischer Inaktivität sind durch einen einzelnen hochamplitudigen Frequenzausbruch („Burst“) unterbrochen.

Conventional EEG pattern in both diversions. Flat passages of electrical inactivity are interrupted by high amplitude frequency eruptions.

Die bei einem Pferd beschriebenen „Burst Suppressionen“ (Abb. 7) bestätigen bisherige Berichte über die deutlich ausgeprägte Dämpfung der zerebrokortikalen elektrischen Aktivität bei der Anwendung von Isofluran in klinisch relevanten Konzentrationen (*Auer et al. 1979, Eger et al. 1971, Schwartz et al. 1989*). Da auf Grund der bei diesem Pferd bestehenden klinischen Bedingungen (Tab. 4) eine zerebrale Ischämie (*Rampil et al. 1983*), Hypoxie (*Schneider et al. 1981, Shapiro 1986*) oder Hypothermie (*Michenfelder und Milde 1991*) als Ursachen der starken Aktivitätsdämpfung unwahrscheinlich sind, reflektieren die beobachteten „Burst Suppressionen“ die durch Isofluran induzierte ausgeprägte Reduktion der zerebralen Stoffwechselrate (*Newberg et al. 1983*).

Bei den bisherigen EEG-Untersuchungen konnten wir beobachten, daß intraoperativ auftretende „Weckreaktionen“ infolge intensiver chirurgischer Stimulation beim Pferd nur dann zu deutlichen Veränderungen im „Compressed Spectral Array“ und in den Spektralparametern führen, wenn für die Spektralanalyse kurze Zeitabschnitte (Dauer: 2 sec.) des EEG-Rohsignals verwendet werden. Die Verwendung von 2-Sekunden-Epochen wird auch von *Levy (1984, 1987)* für den intraoperativen Einsatz der EEG-Spektralanalyse bei Humanpatienten empfohlen. Die Gründe hierfür sind einmal die schnellere Feststellung von EEG-Veränderungen (*Levy 1987*) sowie das Vermeiden einer Verzerrung der numerischen Daten bei der Analyse von „Burst-Suppressionen“ (*Levy 1984*). In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die bei der Spektralanalyse verwendeten Leistungsspektren keinen Hinweis darauf geben, ob die feststellbaren Veränderungen durch ein kontinuierliches EEG-Signal oder nur durch vereinzelt auftretende „Bursts“ verursacht werden (*Cooper et al. 1984*). Aus diesem Grund ist die gleichzeitige Beurteilung des EEG-Rohsignals zu empfehlen.

Mit Hilfe der EEG-Spektralanalyse ist die Möglichkeit gegeben, das Ausmaß der durch Allgemeinanästhetika induzierten zentralnervösen Dämpfung kontinuierlich, schnell und quantitativ zu erfassen. Diese Eigenschaften der Elek-



trozencephalographie können im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen zur Beurteilung der anästhetischen Potenz von Allgemeinanästhetika sowie für die Bestimmung von Wirkungsdauer und -intensität der antinozizeptiven Wirkung von Analgetika eingesetzt werden.

## Literatur

- Auer, J. A., Amend, J. F., Garner, H. E., Hutcheson, D. P. und Salem, C. A. (1979): Electroencephalographic responses during volatile anesthesia in domestic ponies: A comparative study of isoflurane, enflurane, methoxyflurane, and halothane. *Electroencephalographic Responses* 3, 130–134
- Bimar, J. und Bellville, J. W. (1977): Arousal reaction during anesthesia in man. *Anesthesiology* 47, 449–454
- Clark, D. L. und Rosner, B. S. (1973): Neurophysiologic effects of general anesthetics: I. The electroencephalogram and sensory evoked responses in man. *Anesthesiology* 38, 564–582
- Cooper, R., Osselson, J. W. und Shaw, J. C. (1984): EEG-Signal-Analyse. In: *Elektrozencephalographie*, 3. Aufl., Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, 209–287
- Eger, E. I., II., Stevens, W. C. und Cromwell, T. H. (1971): The electroencephalogram in man anesthetized with forane. *Anesthesiology* 35, 504–508
- Ekström, P. M., Short, C. E. und Geimer, T. R. (1993): Electroencephalography of detomidine-ketamine-halothane and detomidine-ketamine-isoflurane anesthetized horses during orthopedic surgery. A comparison. *Vet. Surg.* 22, 414–418
- Grundy, B. L. (1989): Monitoring the brain and the spinal cord in the operating room. In: *Proceedings, 40th Annual Refresher Course Lectures and Clinical Update Program, American Society of Anesthesiologists*, Nr. 252, 1–7
- Homer, T. D. und Stanski, D. R. (1985): The effect of increasing age on thiopental disposition and anesthetic requirement. *Anesthesiology* 62, 714–724
- Johnson, C. B., Young, S. S. und Taylor, P. M. (1994): Analysis of the frequency spectrum of the equine electroencephalogram during halothane anaesthesia. *Res. Vet. Sci.* 56, 373–378
- Kiersey, D. K., Bickford, R. G. und Faulconer, A., Jr. (1951): Electroencephalographic patterns produced by thiopental sodium during surgical operations: Description and classification. *Br. J. Anaesth.* 23, 141–152
- Levy, W. J. (1984): Intraoperative EEG patterns: Implications for EEG Monitoring. *Anesthesiology* 60, 430–434
- Levy, W. J. (1987): Effect of epoch length on power spectrum analysis of the EEG. *Anesthesiology* 66, 489–495
- Levy, W. J., Shapiro, H. M., Maruchak, G. und Meathe, E. (1980): Automated EEG processing for intraoperative Monitoring. A comparison of techniques. *Anesthesiology* 53, 223–236
- Long, C. W., Shah, N. K., Loughlin, C., Spydell, J. und Bedford, R. F. (1989): A comparison of EEG determinants of near-awakening from isoflurane and fentanyl anesthesia. Spectral edge, median power frequency, and delta ratio. *Anesth. Analg.* 69, 169–173
- Messick, J. M., Newberg, L. A., Nugent, M. und Faust, R. J. (1985): Principles of neuroanesthesia for the nonneurosurgical patient with CNS pathophysiology. *Anesth. Analg.* 64, 143–174
- Michenfelder, J. D. (1974): The interdependency of cerebral functional and metabolic effects following massive doses of thiopental in the dog. *Anesthesiology* 41, 231–236
- Michenfelder, J. D. (1988): Assessing the brain. In: *Anesthesia and the brain*. Churchill Livingstone, New York, 169–179
- Michenfelder, J. D. und Milde, J. H. (1991): The relationship among canine brain temperature, metabolism, and function during hypothermia. *Anesthesiology* 75, 130–136
- Mysinger, Pat W., Redding, R. W., Vaughan, J. T., Purohit, R. C. und Holladay, J. A. (1985): Electroencephalographic patterns of clinically normal, sedated, and tranquilized foals and adult horses. *Am. J. Vet. Res.* 46, 36–41
- Newberg, L. A. und Michenfelder, J. D. (1983): Cerebral protection by isoflurane during hypoxemia or ischemia. *Anesthesiology* 59, 29–35
- Newberg, L. A., Milde, J. H. und Michenfelder, J. D. (1983): The cerebral metabolic effects of isoflurane at and above concentrations that suppress cortical electrical activity. *Anesthesiology* 59, 23–28
- Oshima, E., Shingu, K. und Mori, K. (1981): E.E.G. activity during halothane anaesthesia in man. *Br. J. Anaesth.* 53, 65–72
- Otto, K. und Short, C. E. (1991): Electroencephalographic power spectrum analysis as a monitor of anesthetic depth in horses. *Vet. Surg.* 20, 362–371
- Otto, K., Voigt, S. und Short, C. E. (1993): Identification of noxious stimuli and „analgesic“ drug effects using computer assisted EEG analysis during anesthesia in horses - A preliminary Report (Abstrakt). *J. vet. Anaesth.* 20, 43–44
- Pichlmayr, I. und Lips, U. (1980): Halothane-Effekte im Elektroenzephalogramm. Klinische Studie an 50 Patienten. *Anaesthesist* 29, 530–538
- Pichlmayr, I., Lips, U. und Künkel, H. (1983): *Das Elektroenzephalogramm in der Anästhesie*. Grundlagen, Anwendungsbereiche, Beispiele. Springer-Verlag, Berlin
- Purohit, R. C., Mysinger, Pat W. und Redding, R. W. (1981): Effects of xylazine and ketamine hydrochloride on the electroencephalogram and electrocardiogram in the horse. *Am. J. Vet. Res.* 42, 615–619
- Rampil, I. J., Holzer, J. A., Quest, D. O., Rosenbaum, S. H. und Correll, J. W. (1983): Prognostic value of computerized EEG Analysis during carotid endarterectomy. *Anesth. Analg.* 62, 186–192
- Rampil, I. J., Sasse, F. J., Smith, N. T., Hoff, B. H. und Fleming, D. C. (1980): Spectral edge frequency - A new correlate of anesthetic depth (Abstrakt). *Anesthesiology* 53, 12
- Schneider, J., Moens, Y. und De Moor, A. (1981): Elektroenzephalographische Untersuchungen an Ponies bei künstlich erzeugter Hypoxämie. *Mh. Vet.-Med.* 36, 576–581
- Schwartz, A. E., Tuttle, R. H. und Poppers, P. J. (1989): Electroencephalographic burst suppression in elderly and young patients anesthetized with isoflurane. *Anesth. Analg.* 68, 9–12
- Schwilden, H., Schüttler, J. und Stoeckel, H. (1987): Closed-loop feedback control of methohexital anesthesia by quantitative EEG analysis in humans. *Anesthesiology* 67, 341–347
- Schwilden, H. und Stoeckel, H. (1987): Quantitative EEG analysis during anaesthesia with isoflurane in nitrous oxide at 1.3 and 1.5 MAC. *Br. J. Anaesth.* 59, 738–745
- Shapiro, H.M. (1986): Anesthesia effects upon cerebral blood flow, cerebral metabolism, electroencephalogram, and evoked potentials. In: *Miller, E. D. (Hrsg.): Anesthesia*, Bd. 2, 2. Aufl., Churchill Livingstone, New York, 1249–1288
- Short, C. E., Otto, K., Gilbert, M. und Maylin, G. A. (1989): The responses to detomidine usage as a sole agent or in combination in the horse. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.*, 153–166
- Stanski, D. R. (1990): Monitoring depth of anesthesia. In: *Miller, E. D. (Hrsg.): Anesthesia*, Bd. 1, 3. Aufl., Churchill Livingstone, New York, 1001–1029
- Winters, W. D. (1976): Effects of drugs on the electrical activity of the brain: *Anesthetics*. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 16, 413–426

Diese Studie wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Klinik für Pferde

Tierärztliche Hochschule Hannover

Bischofsholer Damm 15

D-30173 Hannover

Tel.: 0511-856-7233