

# Kapnometrie im Schlaflabor

Interpretationshilfe für Messungen mit dem CAPNOsleep

# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Die Phasen des Kapnogramms</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Das Kapnogramm des CAPNOsleep®</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Typische Kapnogramme und ihre Bedeutung</b>	<b>6</b>
4.1	Zentrale und obstruktive Apnoen	6
4.2	Hypoventilation	7
4.3	Zentrales Hypoventilationssyndrom	8
4.4	Schlafbezogene Atmungsstörung bei Hirnstammsult	9
4.5	Cheyne-Stokes-Atmung bei Herzinsuffizienz	10
4.6	Partielle und komplette Obstruktionen	11
4.7	Erweiterung der diagnostischen Möglichkeiten: CO <sub>2</sub> -Atmungsantwort	12
<b>5</b>	<b>Aussagekraft des CO<sub>2</sub> in verschiedenen Fachgebieten</b>	<b>13</b>
5.1	Pädiatrie	13
5.2	Pneumologie	13
5.3	Nephrologie	14
5.4	Kardiologie	14
<b>6</b>	<b>Literaturhinweise</b>	<b>15</b>

# 1 Einleitung

---

Die vorliegende Broschüre soll Ihnen den Einstieg in die Arbeit mit dem neuen Kapnographen CAPNOsleep® erleichtern.

Nach einer Vorstellung des Kapnogramms im allgemeinen und der Darstellung über das CAPNOsleep® finden Sie Abbildungen von pathologischen Kapnogrammformen, wie Sie Ihnen in der Schlafmedizin begegnen können. Jeweils nachgeschaltet ist eine Erklärung der möglicherweise zugrundeliegenden Störung sowie Hinweise auf die Aussagekraft der Kapnographie im Vergleich mit Standardsignalen der Polysomnographie.

Alle Abbildungen sind Originalregistrierungen mit CAPNOsleep®. Sie entstanden im Rahmen einer Multicenter-Studie, organisiert von der AG Pathophysiologie der DGSM, an der sich insgesamt acht Schlaflabore beteiligten.

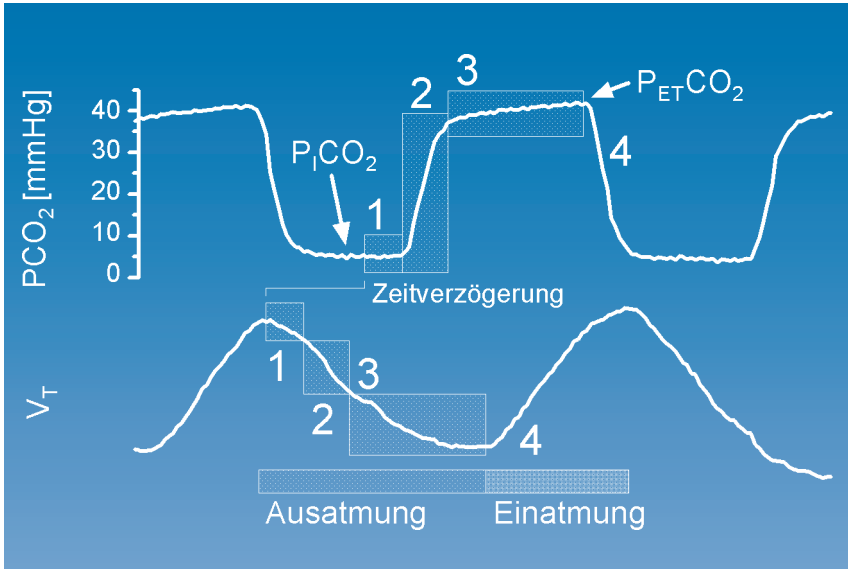
Genauer über diese Studie und die Qualität des Messsignals erfahren Sie aus der Veröffentlichung „Multicenter-Studie Kapnographie in der Schlafmedizin“, T. Schäfer et al., *Somnologie* (1999) 3,3-13.

Am Ende dieser Broschüre finden Sie stichwortartige Hinweise auf spezielle Fragestellungen verschiedener mit der Schlafmedizin verbundener Fachgebiete, in denen die Kapnographie diagnostisch und therapeutisch wichtige Hinweise gibt. Hier geben wir auch Hinweise auf die jeweils relevante Literatur, die Sie bei uns anfordern können.

Wir danken Herrn Priv. Doz. Dr. Thorsten Schäfer für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Broschüre, insbesondere für die Auswahl der Abbildungen und die Interpretation der Kapnogramme.

## 2 Die Phasen des Kapnogramms

Abb. 1: Kapnogramm CAPNOsleep®



Mit Beginn der Ausatmung (Phase 1) strömt Totraumluft am Sensor vorbei, die nicht am Gasaustausch teilgenommen hat und deshalb frei von  $CO_2$  ist. Diese Luft wird in Phase 2 mehr und mehr durch Luft aus den Alveolen ersetzt, was durch einen steilen Anstieg des Kapnogramms beschrieben wird. Gegen Ende der Ausatmung wird ausschließlich Alveolarluft gemessen. Es bildet sich im physiologischen Kapnogramm ein Plateau (Phase 3). Den letzten hohen Messwert vor Beginn der Einatmung bezeichnet man als  $P_{et}CO_2$ , den endexpiratorischen  $CO_2$ -Partialdruck. Dieser Wert spiegelt die Verhältnisse der Alveolarluft wider. Mit Beginn der Einatmung (Phase 4) sinkt der  $CO_2$ -Gehalt der an der Nase gemessenen Luft auf Umgebungsluft-Niveau.

Das CAPNOsleep® transportiert als Nebenstromkapnograph die zu untersuchende Luft mittels einer Pumpe in die Messzelle im Gerät. Deshalb entsteht eine Zeitverzögerung von ca. 1 – 2 Sekunden zwischen den bekannten Atmungssignalen (Flow, Thorax- und Abdomenefforts) und dem Kapnogramm des CAPNOsleep®, wie aus der obigen Abbildung ersichtlich.

# 3 Das Kapnogramm des CAPNOsleep®

Abb. 2a: Das Kapnogramm des CAPNOsleep®

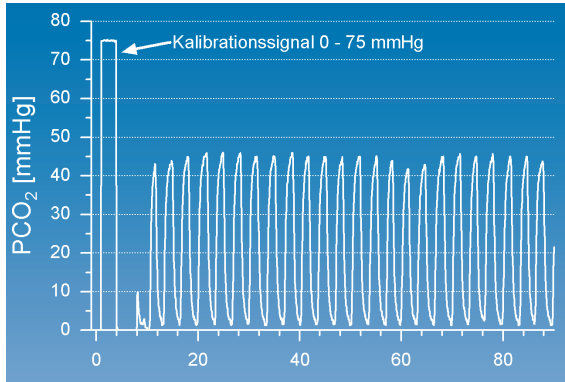
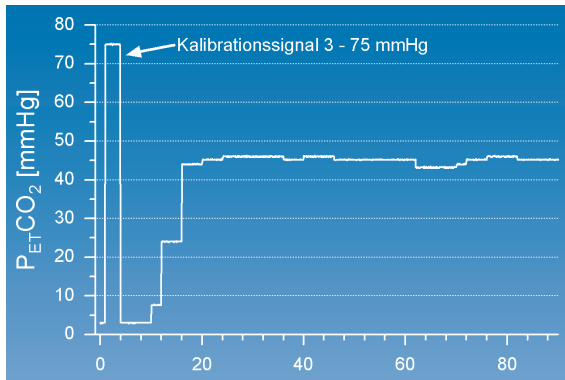


Abb. 2b: Der endexpiratorische  $PCO_2$  ( $P_{ET}CO_2$ )



Die Abbildungen 2a und 2b zeigen die zwei Darstellungsformen der kapnometrisch ermittelten und vom CAPNOsleep® an einen PSG übertragenen Werte:

Ganz links jeweils das Kalibrationssignal, das jederzeit per Knopfdruck abrufbar ist. Es zeigt drei Sekunden lang den maximalen Wert (75 mmHg), danach drei Sekunden lang 0 mmHg an.

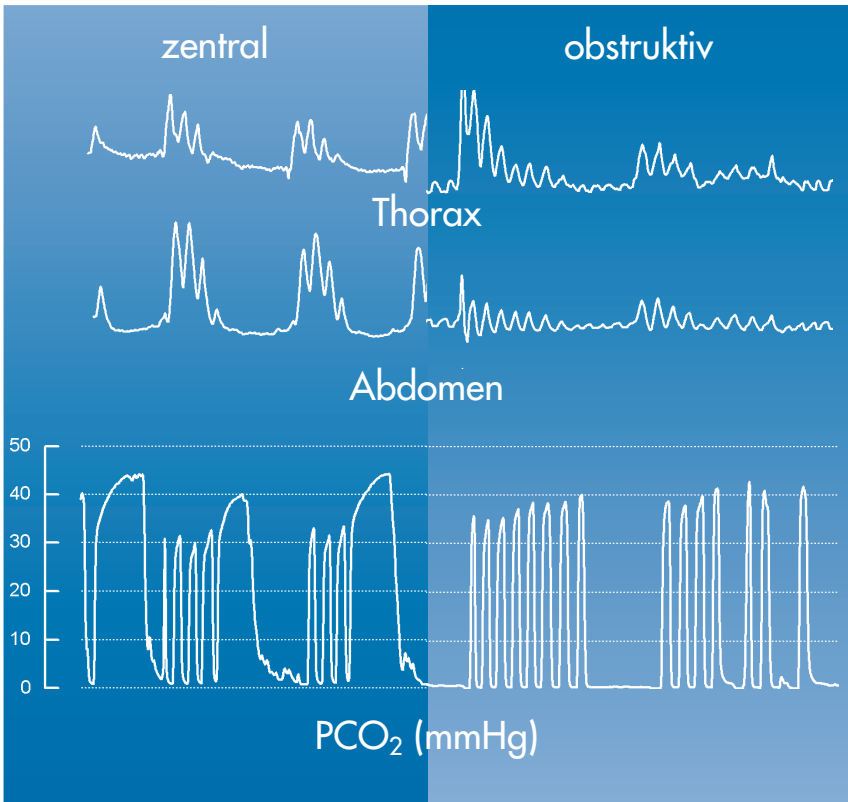
Rechts daneben sind das Kapnogramm (Abb. 2a) sowie der Verlauf des endexpiratorischen  $CO_2$ -Partialdruckes (Abb. 2b) abgebildet. Die Maßeinheit beträgt immer mmHg.

# 4 Typische Kapnogramme und ihre Bedeutung

In den folgenden Abbildungen werden parallel ermittelte, für die jeweilige Interpretation interessante andere Signale aus der Polysomnographie mit abgebildet.

## 4.1 Zentrale und obstruktive Apnoen

Abb. 3



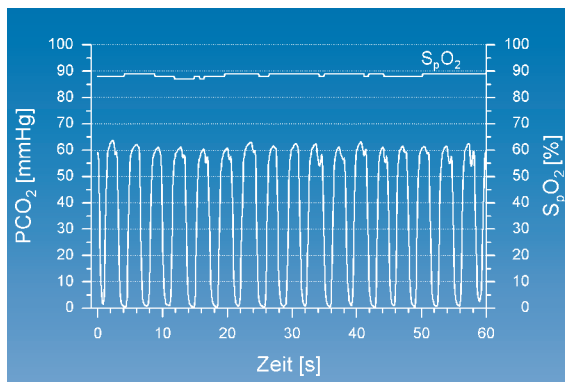
Hier dient die Kapnographie quasi als Thermistorsersatz. Während die Thorax- und Abdomenbewegungen in beiden Abbildungen sehr ähnliche Formen

---

aufweisen, weist die Kapnographie durch ein Nullsignal darauf hin, dass kein Luftfluss vorliegt. Im anderen Fall deutet der Anstieg des  $\text{CO}_2$  darauf hin, dass während der zentralen Apnoe die Atemwege noch offen sind und während der verlängerten Ausatmung Alveolarluft mit steigendem  $\text{CO}_2$ -Gehalt expiriert wird.

## 4.2 Hypoventilation

Abb. 4: Zentrales Hypoventilationssyndrom bei einer 60-jährigen Patientin.



Während Atmungsbewegungen und Luftfluss-Signal normal erscheinen, fällt eine erniedrigte Sauerstoffsättigung (87 – 89 %) auf. Die Kapnographie zeigt eine ausgeprägte Hypoventilation mit einem  $\text{PCO}_2$  von 60 – 65 mmHg. Ursache war eine seltene zentrale Atmungsantriebsstörung. Die Patientin war unempfindlich für  $\text{CO}_2$ . Infolge des geringen Atemzugvolumens bricht die Plateauphase des Kapnogramms vorzeitig ab.

---

## 4.3 Zentrales Hypoventilationssyndrom

Abb. 5: Schwere Hyperkapnie in der Einschlafphase bei einem Patienten mit zentralem Hypoventilationssyndrom.

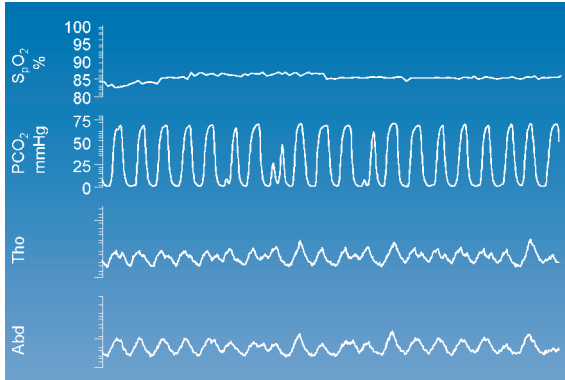
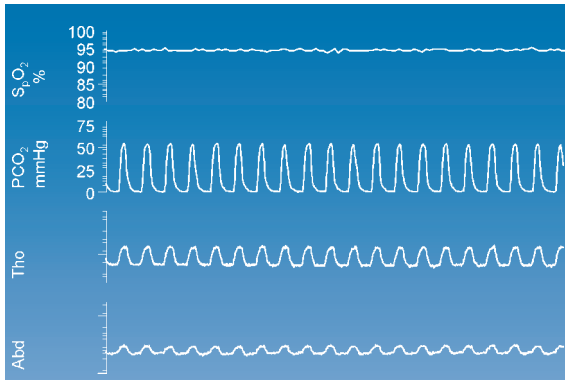


Abb. 6: Gleicher Patient, Therapie mit zeitgesteuerter, druckkontrollierter Maskenbeatmung.



**Niedrige** Ausschläge von Thorax- und Abdomenefforts sind relativ, da bei herkömmlichen Polygraphiesystemen die Kurven jeweils so verstärkt werden, dass sie optisch gut aussehen. Thorax- und Abdomenefforts reichen zur Diagnose einer über den  $CO_2$  definierten Hypoventilation nicht aus, selbst wenn man mit kalibrierter Induktionsplethysmographie oder mit Pneumotachographie

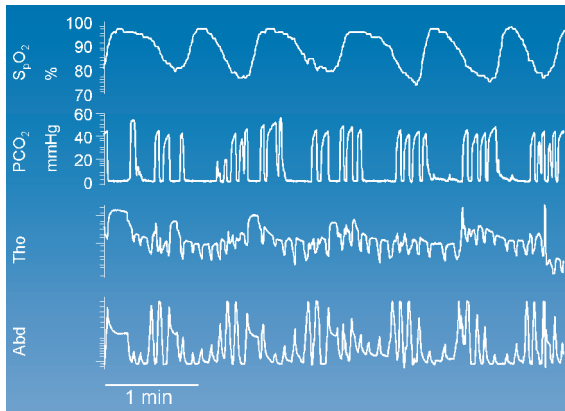
---

tatsächliche Volumina messen könnte.

In diesem Beispiel erreicht das Kapnogramm bei den meisten Atemzügen noch ein Plateau, der  $\text{CO}_2$  ist deutlich erhöht. Die Atmung bleibt aber regelmäßig.

## 4.4 Schlafbezogene Atmungsstörung bei Hirnstamminsult

Abb. 7: Patient nach Hirnstamminfarkt. Obstruktive Schlafapnoen bei erhöhtem  $\text{PCO}_2$ .

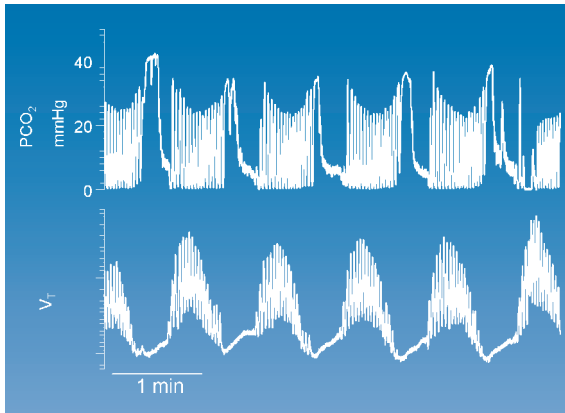


Die normale Polysomnographie ließe bei optimaler Registrierung von Thorax- und Abdomenbewegungen das „ataktische“ Atemmuster, d.h. die unregelmäßigen Atembewegungen erkennen, nicht aber, dass es sich hierbei um eine **Hypoventilation** handelt. Der Verdacht auf die partielle Obstruktion ergibt sich aus der Phasenverschiebung von Thorax und Abdomen, der phasischen Entsättigung und dem progredienten  $\text{CO}_2$ -Anstieg. Beweisend wäre aber nur der Anstieg des Poes, dessen Messung im Schlaflabor wegen schwieriger Patientenakzeptanz nicht routinemäßig durchgeführt wird.

---

## 4.5 Cheyne-Stokes-Atmung bei Herzinsuffizienz

Abb. 8: Periodische Atmung (Cheyne-Stokes) mit zentralen Apnoen bei einem Patienten mit Herzinsuffizienz. Infolge der periodischen Hyperventilation entstehen Hypokapnien mit  $P_{Et}CO_2$ -Werten um 25 mmHg.



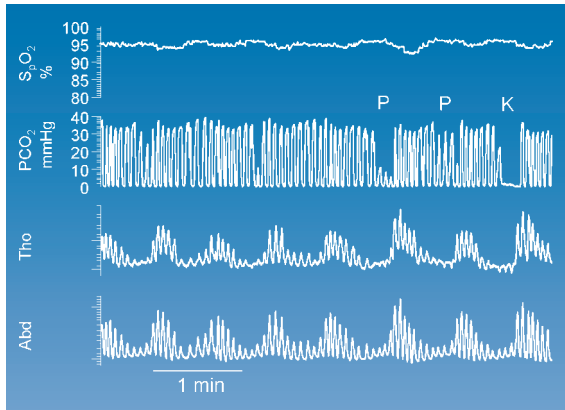
Von entscheidender Bedeutung in diesem Beispiel ist die deutliche Hypokapnie, die mit zur Unterhaltung dieses Atmungsmusters beitragen kann. Diese Hypokapnie lässt sich mit der konventionellen Technik nicht erkennen. Wird bei Patienten eine Sauerstoff-Therapie angewandt, kann die Kapnographie zum Ausschluss einer Hyperkapnie infolge einer Ventilationshemmung unter Sauerstoffatmung benutzt werden.

---

## 4.6 Partielle und komplette Obstruktionen

Abb. 9: Periodische Atmung bei einer Patientin mit erhöhtem Luftwegswiderstand der oberen Atemwege.

**P = Partielle Obstruktionen, K = Komplette Obstruktion.**

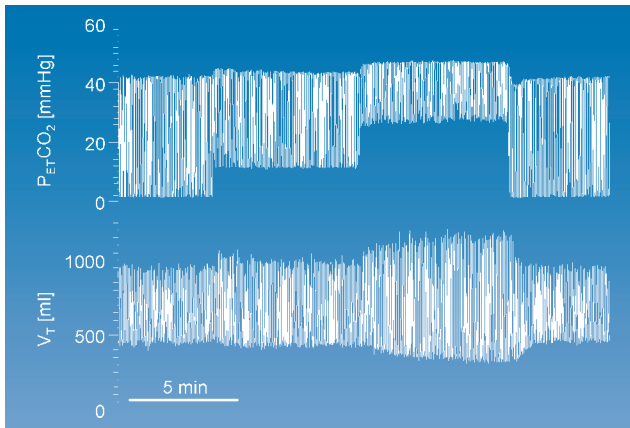


Über die standardmäßige Polysomnographie hinaus liefert die Kapnographie die Information über das Niveau des  $PCO_2$ . In diesem Fall liegt eine leichte Hypokapnie als Zeichen einer periodischen Hyperventilation vor. Bedingt durch die Zunahme des Atemwegswiderstandes kommt es zu einer Verringerung des Luftflusses (partielle Obstruktion, P) bis hin zu einem Sistieren (komplette Obstruktion, K). Im ersten Fall fehlen die Alveolarplateaus, was bedeutet, dass das Atemzugvolumen so klein ist, dass nur geringe Mengen der Alveolarluft ausgeatmet wurden. Die Kurve hat eine reduzierte Amplitude und verläuft spitz. Im Fall der kompletten Obstruktion wird kein  $CO_2$  expiriert. Das Kapnogramm fällt trotz vorhandener Atmungsbewegungen auf den Wert der Umgebungsluft ab.

---

## 4.7 Erweiterung der diagnostischen Möglichkeiten: CO<sub>2</sub>-Atmungsantwort

Abb. 10: CO<sub>2</sub>-Atmungsantwort im Schlaf unter Verwendung der Kapnographie und der kalibrierten Induktionsplethysmographie.



Die Abbildung zeigt den Verlauf einer normalen CO<sub>2</sub>-Atmungsantwort, die im Schlaf gemessen wurde. Zur Auswertung wird neben der Kapnographie ein quantifizierbares Atmungssignal (z.B. Pneumotachograph, kalibrierter Induktionsplethysmograph) benötigt. Auf der Abbildung erkennt man die stufenweise Erhöhung der inspiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, die daraus resultierende Erhöhung des expiratorischen PCO<sub>2</sub> um je ca. 3 mmHg und die Vertiefung der Atmung.

Eine gesteigerte CO<sub>2</sub>-Atmungsantwort kann Ursache für periodische Atmung mit zentralen Apnoen, Arousals und entsprechend gestörter Schlafarchitektur sein.

Eine reduzierte CO<sub>2</sub>-Antwort kann Ursache für eine Hypoventilation im Schlaf sein, die durch die begleitende Hypoxie z.B. ein Cor pulmonale nach sich ziehen kann.

# 5 Aussagekraft des CO<sub>2</sub> in verschiedenen Fachgebieten

---

## 5.1 Pädiatrie

- ALTE und SIDS-Kinder zeigen eine erhöhte schlafphasenbezogene Variabilität des PCO<sub>2</sub>. → 1, 15, 16\*
- Neuromuskuläre Erkrankungen (z.B. Muskeldystrophien und periphere Neuropathien) führen häufig zu Hypoventilationen mit Arousals. → 1, 16\*
- Verstärkung pulmologischer Erkrankungen im Schlaf an Hyperkapnie erkennbar, z.B. bei CF, kindlichem Asthma, pulmonalen Dysplasien bzw. Dysgenesien. → 1, 16\*
- Beim zentralen Hypoventilationssyndrom treten starke Hyperkapnien und stark schwankende CO<sub>2</sub>-Werte auf, besonders im REM-Schlaf. → 1, 12\*

## 5.2 Pneumologie

- Hyperkapnie durch Hypoventilation kann auf Schonatmung hinweisen. Ursachen: Atemantriebsstörung, Gasaustauschstörung, pharyngeale Obstruktionen, jeweils spätes Stadium. → 1, 3, 9\*
- Erkennen einer übermäßigen CO<sub>2</sub>-Zunahme bei COPD-Patienten unter O<sub>2</sub>-Therapie. → 1\*
- Differenzialdiagnostik: COPD/COPD mit SBAS. Im letzteren Fall um bis zu 20 mmHg erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte, im ersteren nur bis ca. 6 mmHg erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte. → 1, 5\*
- Kyphoskoliosepatienten entwickeln besonders im REM-Schlaf Hypoventilationen. Unter Therapie, z.B. intermittierender Beatmung tagsüber, auch nachts verbesserte CO<sub>2</sub>-Werte durch verbesserte Arbeit einer erhaltenen Atemmuskulatur. → 1, 17\*

\* Literaturhinweise auf Seite 15

- 
- Differenzialdiagnostik der zentralen Apnoe, einerseits als Folge einer periodischen Hyperventilation mit erniedrigtem  $\text{PCO}_2$  durch inadäquat gesteigerten Atmungsantrieb, andererseits im Rahmen einer Hypoventilation mit erhöhtem  $\text{PCO}_2$  als Ausdruck einer Atmungsantriebsschwäche. → 1, 13, 14\*

## 5.3 Nephrologie

- Chronische Hypokapnie.  $\text{CO}_2$  sinkt an die Apnoe-Schwelle, Folge können zentrale Apnoen oder periodische Atmung sein, bei allg. niedrigem  $\text{CO}_2$ . Diese Ursache der CSA ist zu unterscheiden von der erhöhten  $\text{CO}_2$ -Sensibilität, die durch die Dialyse ausgelöst wird. Bei letzterer normaler oder erhöhter  $\text{CO}_2$ . → 1, 4, 6, 8, 10\*

## 5.4 Kardiologie

- Bei Patienten mit Herzinsuffizienz: Erkennen periodischer Hyperventilation mit niedrigen  $\text{CO}_2$ -Partialdrücken in Form der Cheyne-Stokes-Atmung in Folge inadäquat gesteigerten Atmungsantriebes. → 1, 7, 18\*

Diese Einsatzmöglichkeiten der Kapnographie in der Schlafmedizin sind der aktuelle Stand der Forschung. Ein altbekannter Messwert wird Tag für Tag neu entdeckt. Weitere Erkenntnisse werden – nicht zuletzt durch den täglichen Einsatz von CAPNOsleep® – fast zwangswise folgen. Wir wollen diese Entwicklung unterstützen. Bitte senden Sie uns Ihre Literaturanforderung, eine entsprechende Übersicht finden Sie auf Seite 15.

\* Literaturhinweise auf Seite 15

# Literaturhinweise

---

- 1 *Schläpke ME et al.*: Zur Bedeutung des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes als Meßgröße im Schlaflabor, *Somnologie* (1997)1, 184 – 196.
- 2 *Andreas S. et al.*: Cheyne-Stokes respiration and prognosis in congestive heart failure. *Am J Cardiol* 78 (11): 1260 – 1264, 1996.
- 3 *Criée CP et al.*: Die Atempumpe. Atemmuskulatur und intermittierende Selbstbeatmung. Thieme, Stuttgart-NewYork, 1995.
- 4 *Fletcher EC et al.*: Obstructive sleep apnea and the kidney. *J Am Soc Nephrol* 4: 1111 – 1121, 1993.
- 5 *Goldstein RS et al.*: Effect of supplemental nocturnal oxygen on gas exchange in patients with severe obstructive lung disease. *N. Engl J Med* 310: 425, 1984.
- 6 *Hamilton RW et al.*: Control of breathing in uremia: ventilatory response to CO<sub>2</sub> after hemodialysis. *J Appl Physiol* 41 (2): 216 – 222, 1976.
- 7 *Hanly PF et al.*: Respiration and abnormal sleep in patients with congestive heart failure. *Chest* 96: 480 – 488, 1989.
- 8 *Jean G et al.*: Sleep apnea incidence in maintenance hemodialysis patients: influence of dialysate buffer. *Nephron* 71: 138 – 142, 1995.
- 9 *Köhler D et al.*: Leitlinien zur häuslichen Sauerstoff- und Heimbeatmungstherapie, *Pneumologie* 50: 927 – 931, 1996.
- 10 *Pauli HG et al.*: Respiratory control in uremic acidosis. *J Appl Physiol* 18: 717 – 721, 1963
- 11 *Sanner B et al.*: Störungen des Schlafes bei terminaler Niereninsuffizienz. *Nieren Hochdruckkrankh* 25: 27 – 30, 1996.
- 12 *Schäfer C*: Das Atmungssystem des Menschen bei fehlender Empfindlichkeit für CO<sub>2</sub> vor dem Hintergrund tierexperimenteller Ausschaltversuche. Dissertation, Med. Fakultät, Ruhr-Universität Bochum, 1998
- 13 *Schäfer D et al.*: Störungen von Schlaf und Atmung bei Patienten mit Hirnstammläsionen. *Wien Med Wschr* 146 (13/14): 296 – 298, 1996.
- 14 *Schäfer D et al.*: Differenzierung von Schlaf- und Atmungsstörungen nach Hirnstammsulten. *Somnologie* 1: 151 – 159, 1997
- 15 *Schläpke ME*: Fortschritte in der Prävention des plötzlichen Kindstodes. *Wien Med Wschr* 144 (Sonderheft): 54 – 61, 1994.
- 16 *Schläpke ME et al.*: Schlafbezogene Störungen der Atmungsregulation bei Kindern. In: Berger M (Hrsg): *Handbuch des normalen und gestörten Schlafes*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, pp 301 – 328, 1992.
- 17 *Schlenker E et al.*: Der Effekt der nichtinvasiven Beatmung auf den pulmonalarteriellen Druck bei Patienten mit schwerer Kyphoskoliose. *Med Klin* 92: 40 – 44, 1997
- 18 *Yamashiro Y et al.*: Review: Sleep in heart failure. *Sleep* 16 (6): 513 – 523, 1993.

## emergency



Im Notfall bereit – Systemlösungen für Notfall-, Transport- und Katastrophenmedizin

## homecare



Atmen und leben – Systemlösungen für Heimbeatmung, Schlaf- und Sauerstoffmedizin

## diagnostics



Sofort unter Kontrolle – Systemlösungen für nicht-invasive Diagnose

### Deutschland

Weinmann

Geräte für Medizin GmbH+ Co. KG  
Postfach 540268 ■ 22502 Hamburg  
Kronsaaßweg 40 ■ 22525 Hamburg  
T: 040-5 47 02-0 Zentrale  
F: 040-5 47 02-461 Zentrale  
E: info@weinmann.de  
www.weinmann.de

Weinmann Diagnostics GmbH+ Co. KG  
Doerriesweg 3 ■ 22525 Hamburg  
T: 040-5 47 02-435  
F: 040-5 47 02-530  
E: info@weinmann-diagnostics.de  
www.weinmann-diagnostics.de

Zentrum für Produktion, Logistik, Service  
Weinmann

Geräte für Medizin GmbH+Co. KG  
Siebenstücken 14  
24558 Henstedt-Ulzburg  
T: 04193-88 91-0  
F: 04193-88 91-450

### Schweiz

G. Weinmann AG – Neuenhof  
T: +41-(0)56-416 41 11  
E: info@ch.weinmann.de  
www.weinmann.de

### Frankreich

Weinmann S.A.R.L. – Paris-Igny  
T: +33-(0)1 69 35 53 20  
E: info@fr.weinmann.de  
www.weinmann.de

### Asien-Pazifik

Weinmann (Asia-Pacific) Co.Ltd.  
– Bangkok  
T: +66-(0)2-7 63 67 70  
E: info@asia.weinmann.de  
www.weinmann.de

### Australien

Weinmann (Australia)  
Pty. Ltd. – Melbourne  
T: +61-(0)3-95 43 91 97  
E: info@au.weinmann.de  
www.weinmann.de

### Neuseeland

Weinmann (New Zealand)  
Ltd. – New Plymouth  
T: +64-(0)6-7 59 22 10  
E: info@nz.weinmann.de  
www.weinmann.de

### China

Weinmann GmbH+Co.KG  
(Shanghai Rep. Office)  
T: +86 21 32 26 26 89  
E: info@cn.weinmann.de  
www.weinmann.de