

Zeitschrift: Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire
ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires

Herausgeber: Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte

Band: 142 (2000)

Heft: 5

Artikel: Lungenfunktionsprüfung beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung der Ultraschall-Spirometrie/Kapnographie

Autor: Herholz, C. / Busato, A. / Straub, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-592531>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Lungenfunktionsprüfung beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung der Ultraschall-Spirometrie/Kapnographie*

C. Herholz², A. Busato³, R. Straub²

Abteilung Innere Pferdeklinalik², Klinik für Nutztiere und Pferde, und Institut für Tierzucht³ der Universität Bern

Zusammenfassung

Chronische Lungenerkrankungen beim Pferd haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die klinische Untersuchung des Atmungsapparats konnte zwar stark erweitert werden, doch haben Lungenfunktionstests bisher keinen Eingang in die Routinediagnostik beim Pferd gefunden. In tabellarischer Form wird eine Übersicht über bisher erprobte Methoden der Lungenfunktionsprüfung beim Pferd erstellt. Eine neuere, vom Pferd gut tolerierte und unkomplizierte Möglichkeit, Lungenfunktionseinbussen zu diagnostizieren, ist die Ultraschall-Spirometrie/Kapnographie. Die graphische Darstellung der Fraktion expirierten CO₂ gegen das expirierte Volumen eines Atemzuges wird «Single Breath Diagram for CO₂» (SBD-CO₂) bezeichnet. Die Anwendung des SBD-CO₂ und der daraus errechneten Funktionsparameter hat in der Humanmedizin zur Lungenfunktionsdiagnostik grosse Bedeutung gewonnen. Im Folgenden werden Möglichkeiten, Grenzen und Zukunftsperspektiven des Gebrauchs der Ultraschall-Spirometrie/Kapnographie aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Lungenfunktionstests – Pferde – Ultraschall-Spirometrie/Kapnographie – SBD-CO₂

Tests de fonction pulmonaire chez le cheval avec la spirométrie à l'ultrason/capnographie

Les maladies pulmonaires chroniques chez le cheval ont pris de l'importance ces dernières années. L'examen/évaluation clinique du système respiratoire a pu être fortement amélioré, mais les tests de fonction pulmonaire ne font toujours pas partie du diagnostic de routine chez le cheval. Une vue d'ensemble des méthodes récentes pour les examens de la fonction pulmonaire chez le cheval est présentée sous forme de tableau. Une nouvelle possibilité, simple, bien tolérée chez le cheval, pour diagnostiquer les pertes de fonction pulmonaire est la spirométrie à l'ultrason/capnographie. La représentation graphique de la fraction de CO₂ expiré et du volume expiré lors d'un cycle respiratoire est appelée «Single Breath Diagram for CO₂» (SBD-CO₂). L'utilisation du SBD-CO₂ et des paramètres de fonction calculés à partir de là, ont pris beaucoup d'importance dans le diagnostic de la fonction pulmonaire en médecine humaine. Par la suite seront montrées les possibilités, limites et perspectives du futur de l'utilisation de la spirométrie à l'ultrason/capnographie.

Mots-clés: test de fonction pulmonaire – cheval – spirométrie à l'ultrason/capnographie – SBD-CO₂

Untersuchungen der Lungenfunktion beim Pferd

In der Routinediagnostik spielen chronische Lungenerkrankungen beim Pferd eine bedeutende Rolle (Bracher, 1987; Bracher et al., 1991; Herholz, 1993). In den letzten Jahren konnte die klinische Untersuchung des Respirationstrakts beim Pferd durch den Gebrauch des Bronchoskops, der Einführung der zytologischen Untersuchung des Trachealsekrets (Dieckmann, 1987) und der bronchoalveolären Lavage-Flüssigkeit (BAL-F; Kleiber, 1996) sowie der radiologischen und szintigraphischen Untersuchung des Thorax (Farrow, 1981;

O'Callahan, 1991; Ueltschi und Jäggin, 1996; Jäggin, 1997) in Bezug auf pathogenetische und morphologische Aussagen stark erweitert werden.

Doch sind es im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung von Höchstleistungen im Reit- und Rennsport insbesondere funktionelle Einbussen bei Lungenerkrankungen des Pferdes, die für den Praktiker von Interesse sind. Neben der Blutgasanalyse (Spörri und Denac, 1970; Meister et al., 1976) finden sich zahlreiche Möglichkeiten der Lungenfunktionsprüfung (Tab. 1).

Respiratorische Funktionseinbussen bei geringgradigen Lungenveränderungen und fehlendem Husten und Nasenausfluss bleiben in den meisten

* Im Gedenken an
Professor
Dr. Heinz Gerber

Tabelle 1: Lungenfunktionstests beim Pferd

Lungenfunktionstest	Beurteilte Grösse	Literatur
Pneumotachographie	Atemstromstärke (Flow)	Fleisch, 1925 Spörri und Leemann, 1964 Spörri und Denac, 1967, 1970 Muyllé und Oyaert, 1973
Spirometrie	Lungenvolumina	Spörri und Leemann, 1964 Spörri und Zerobin, 1968 Buck et al., 1969 Moens, 1992
Ultraschall-Spirometrie	Lungenvolumina/Flow	Buess et al., 1993 Herholz et al., 1997 Ohnesorge et al., 1998
Interpleuraldruckmessung	Resistance/Compliance Atemschleife (Volumen-/Druck-Diagramm)	Spörri und Leemann, 1964 Purchase, 1966 Spörri und Zerobin, 1968 Sasse, 1971 Muyllé and Oyert, 1973
Stickstoff-Aus- und Einwaschungstest	Alveoläre Ventilationsstörung	Spörri und Denac, 1970, 1970 Muyllé et al., 1972 Gallivan et al., 1990
Helium-Einwaschung	Funktionelle Residualkapazität (FRK) Heliumeinmischzeit (Lungenventilation)	Denac-Sikiric, 1976
Impedanz-Plethysmographie	Atemvolumen	Reinhardt et al., 1972 Attenburrow, 1990
Elimination inerter Gase (SF ₆ , Ethane, Cyclopropan, Enflurane, Diethyläther, Azeton)	Ventilations- Perfusionsverteilung (V/Q)	Nymann et al., 1991
Atemstrom-/Volumenschleifen	Atmungsmechanik	Petsche et al., 1994
Kapnographie	Respiratorischer Totraum, expiratorisches Mischluftvolumen (Lungen-Ventilation, Perfusion, Diffusion)	Moens, 1992 Herholz, 1998 Ohnesorge et al., 1998

Fällen unerkannt; dann, wenn eine Therapie am erfolgversprechendsten wäre. Auf der Suche nach einem geeigneten, praktikablen Funktionstest und mit der Einführung der Ultraschall-Spirometrie beim Pferd lag es nahe, die in der Humanmedizin zur Beurteilung von Ventilation, Perfusion und physiologischem Totraum gebräuchliche volumetrische Kapnographie beim Pferd einzusetzen.

Single Breath Diagram for CO₂ (SBD-CO₂) in der Humanmedizin

Die graphische Darstellung der Fraktion expirierten CO₂ gegen das expirierte Volumen eines Atemzuges wird als «Single Breath Diagram for CO₂» (SBD-CO₂) bezeichnet. Aitken und Clarke-Kennedy (1928) lieferten erstmals eine detaillierte Beschreibung der expiratorischen CO₂-Analyse zur Messung von Atemwegstotraum, später auch Fowler (1948) und Bartels et al. (1954). Die ursprüngliche mathematische Definition des respiratorischen Totraumes (VD_{Bohr}) geht auf Bohr (1891) zurück. Erst 1938 kam es durch Enghoff mit dem Gebrauch des arteriellen CO₂-Partialdruckes zur Modifikation der Formel zum physiologischen Totraum (VD_{phys}). Folkow und Pappenheimer (1955)

erarbeiteten die Einteilung des physiologischen Totraumes in den Atemwegstotraum und alveolären Totraum, während Fowler et al. (1957) das SBD-CO₂ in drei Phasen unterteilte und jede Phase einem anatomischen Kompartiment zuordnete. Phase I ist die Auswaschung von Gas aus den oberen Atemwegen und nahezu CO₂ frei. Phase II ist der schnell ansteigende Schenkel der CO₂ / Volumen-Kurve und repräsentiert Mischluft aus den überleitenden Atemwegen. Phase III, auch alveoläres Plateau genannt, enthält das meiste CO₂ mit Gas aus den Azini oder peripheren alveolären Atemwegen.

Der Atemwegstotraum (VD_{aw}) beinhaltet das Gasvolumen zwischen den Lippen und dem Übergang von Einatemungsluft zu Alveolargas. Die Lage des Berührungspunktes inspirierten Gases mit Alveolargas wird im Wesentlichen bestimmt durch den inspiratorischen Atemstrom und die Atemwegsgeometrie (Cumming, 1978). Alveolärer Totraum (VD_{alv}) wird auf die inkomplette Mischung alveolären Gases zurückgeführt, assoziiert mit Ventilations-/Perfusionsstörungen innerhalb terminaler respiratorischer Einheiten, zeitlichen Verschiebungen zwischen Ventilation und Perfusion (Cooper, 1961), Ventilations-/Perfusionsstörungen zwischen terminalen respiratorischen Einheiten sowie arte-

rio-venösen Shunts. Ursachen physiologischen Totraumes (VD_{aw} und VD_{alv}) werden somit in erster Linie durch den inspiratorischen Atemstrom und durch die Zeit, die für Diffusion und Gasverteilung zur Verfügung steht, beeinflusst.

Der Gebrauch des expiratorischen Kapnogrammes wurde zur Diagnostik von Emphysem (Dornhorst et al., 1953) und Ventilations-/Perfusionsstörungen allgemein (Comroe, 1962) vorgeschlagen. In der Humanmedizin ist der Ausdruck «chronic obstructive pulmonary disease» (COPD) ein Begriff, der für Patienten mit Emphysem, chronischer Bronchitis oder einer Mischung von beiden angewandt wird. Im Gegensatz zur chronischen Bronchitis bedarf es zur Bestätigung eines chronischen, irreversiblen Lungenemphysems einer histologischen Untersuchung. Schwarzt et al. (1994) schlagen vor, dass ein quantitativer Zusammenhang zwischen der Form des expiratorischen Kapnogrammes und der peripheren Lungenanatomie zu einer nicht invasiven Methode der Emphysemdiagnostik am lebenden Patienten führen könnte. Worth (1986) propagiert den Gebrauch von Phase II des SBD- CO_2 zur Emphysemdiagnostik; eine Methode, die nach Kars et al. (1995) zu wenig sensitiv ist, während sich die Steigung von Phase III zur Unterscheidung von Emphysem- und Asthmapatienten von lungengesunden Probanden als hilfreich erwies (Kars et al., 1997).

Interessant erschien weiterhin, dass die expiratorische Kapnographie nicht nur an erwachsenen Patienten, sondern auch bei anästhesierten und neugeborenen Menschen, bei denen der Untersucher nicht mit einer Kooperation rechnen kann, von Nutzen war (Fletcher et al., 1986; Ream et al., 1995).

SBD- CO_2 zur Lungenfunktionsprüfung beim Pferd

Aus den vorangegangenen Ausführungen werden einige Aspekte deutlich, die auch in der Lungenfunktionsprüfung beim Pferd wesentlich sind.

Als erstes ist zu nennen, dass die volumetrische Kapnographie ohne Kooperation des Probanden durchführbar ist; eine Grundvoraussetzung für die Lungenfunktionsdiagnostik am stehenden, unseidierten Pferd.

Die Ultraschall-Spirometrie, eine einfache und gut tolerierte Methode (Herholz et al., 1997), kombiniert mit der Kapnographie, bietet auch beim Pferd die Möglichkeit, Volumen/ CO_2 -Diagramme zu erstellen und entsprechend auszuwerten.

Moens (1992) beschrieb als erster die Anwendung des SBD- CO_2 am anästhesierten Pferd zur Studie regionale Gasverteilung und Gasaustausch und be-

rechnete den Atemwegstotraum und physiologischen Totraum im Verhältnis zum Atemzugvolumen (Vd_{phys}/VT). Er konnte mit der Methode wichtige Informationen über die Lungenfunktion beim Pferd in Narkose gewinnen.

In Anlehnung an die Arbeit von Worth (1985) nutzten Ohnesorge et al. (1998) Phase II des SBD- CO_2 zur Diagnostik unterschiedlicher Grade von chronisch obstruktiver Bronchitis (COB) bei 37 Warmblutpferden. Die Autoren bestimmten den Quotienten aus dem Mischluftvolumen zwischen 50–75% der endexpiratorischen CO_2 -Konzentration und dem Inspirationsvolumen, wobei signifikante Unterschiede zwischen gesunden, gering-, mittel- und hochgradig an COB erkrankten Pferden auftraten. In ihrer Arbeit wurde der Mittelwert aus nur fünf ausgewählten Atemzügen zur Berechnung der Funktionsparameter herangezogen; Auswahlkriterien für die Wahl der Atemzüge werden nicht beschrieben. Mit der relativ hohen Variabilität des Atemzugvolumens von Atemzug zu Atemzug beim Pferd (Gallivan et al., 1990; Herholz et al., 1997) erreichen auch unterschiedliche Gasvolumina die Alveolen mit wechselnder Gasverteilung. Atemzugvolumen und Atemfrequenz wirken sich entscheidend auf die CO_2 -Elimination aus (Neufeld et al., 1991); reduziertes Atemzugvolumen führt zu einer steileren Phase III beim Menschen (Schwarzt et al., 1991). Mit anderen Worten, beim Pferd ist mit der Variabilität von Atemfrequenz und -volumen auch mit wechselnden Formen des SBD- CO_2 und den daraus resultierenden Funktionsparametern zu rechnen. Aufgrund neuerer Berechnungen müssten bei Berücksichtigung einer einzelnen Messreihe im Durchschnitt 80 Atemzüge ausgewertet werden, um zuverlässige Aussagen über die Steigung von Phase II und III des SBD- CO_2 beim Pferd machen zu können (Busato, persönliche Mitteilung). Mit der Entwicklung leistungstarker Computerprogramme ist die präzise Auswertung beliebig vieler Atemzüge jedoch kein Hindernis mehr.

Mit der Beurteilung des SBD- CO_2 eröffnen sich somit zahlreiche neue Perspektiven in der Lungenfunktionsdiagnostik beim Pferd, insbesondere bei geringgradigen, klinisch schwer zu erkennenden Funktionseinbußen und zur Überwachung von Therapieerfolgen (Herholz, 1998). Zur Illustration werden in Abbildung 1 die SBD- CO_2 von fünf gesunden, zehn gering- und zwölf mittel- bis hochgradig an COB erkrankten Pferden aufgezeigt. Zukünftige Studien werden sich weiter mit der quantitativen Analyse der globalen Form des SBD- CO_2 und den daraus errechneten Funktionsparametern zu beschäftigen haben.

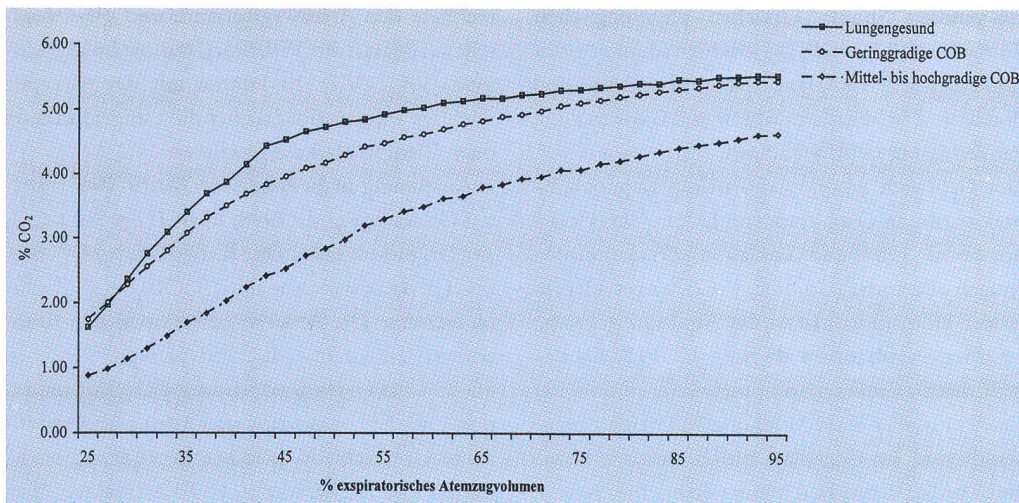


Abbildung 1: SBD-CO₂ von gesunden, gering- und mittel- bis hochgradig an COB erkrankten Pferden.

Literatur

Aitken R.S., Clarke-Kennedy A.E. (1928): On the fluctuation in the composition of the alveolar air during the respiratory cycle in muscular exercise. *J. Physiol.* 65 : 389–411.

Attenburrow D. P. (1990): Impedance plethysmography. *Equine vet. J.* 22, 114–117.

Bartels J., Severinghaus J.W., Forster R.E., Briscoe W.A., Bates D.V. (1954): The respiratory deadspace measured by single breath analysis of oxygen, carbon dioxide, nitrogen or helium. *J. clin. Invest.* 33, 41.

Bohr C. (1891): Über die Lungenatmung. *Skand. Archiv. Physiol.* 2, 236.

Bracher V. (1987): Zur Erfassung der Dunkelziffer COPD-kranker Pferde. *Vet. Med. Diss., Zürich.*

Bracher V., v. Fellenberg R., Winder C. N., Grünig G., Hermann M., Krähenmann A. (1991): An investigation of the incidence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in random population of Swiss horses. *Equine vet. J.* 23, 136–141.

Buck W., Eickemeyer J., Friedrich H. (1969): Über ein transistorisches Gerät zur Messung des Atemvolumens. *Elektromedizin* 14, 115–123.

Buess Ch., Isler R., von Plocki K. A., Auer J., Guggenbühl W. (1993): Konstruktion eines Messgeräts zur präzisen Analyse der Lungenfunktion beim Pferd in Ruhe und unter Belastung. *Pferdeheilkunde* 9, 151–155.

Comroe J. H. (1962): *The lung*. 2nd ed. Chicago: Year Book Medical Publishers, 107.

Cooper E. A. (1961): On respiratory deadspace and the adequacy of artificial ventilation. Thesis, University of Cambridge.

Cumming G. (1978): In: *Mechanics of Airway Obstruction in Human Respiratory Disease*, Ed. Tygenberg, Cape Town Balkema, p. 327.

Denac-Sikiric M. (1976): Die funktionelle Residualkapazität und Helium-Einmischzeit gesunder und lungenkranker Pferde. *Zbl. Vet. Med. A*, 23, 193–205.

Dieckmann M.P. (1987): Zur Wirksamkeit von Ambroxolhydrochlorid (Mukovent®) bei lungenkranken Pferden – klinische, funktionelle und zytologische Untersuchungen. *Vet. Med. Diss., Hannover.*

Dornhorst A. C., Semple S. J. G., Young I. M. (1953): Automatic fractional analysis of expired air as a clinical test. *Lancet*, 1, 370.

Enghoff H. (1938): Volumen inefficax. *Uppsala Läkaref. Förhand.* 44, 191.

Farrow C. S. (1981): Radiography of the Equine Thorax: Anatomy and Technic. *Veterinary Radiology* 22, 62–68.

Fleisch A. (1925): Der Pneumotachograph, ein Apparat zur Geschwindigkeitsmessung der Atemluft. *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 209, 713.

Fletcher R., Niklason L., Drefeldt B. (1986): Gas exchange during controlled ventilation in children with normal and abnormal circulation: a study using the single breath test for carbon dioxide. *Anesth. Analg.* 65; 645–652.

Folkow B., Pappenheimer I. R. (1955): Components of the respiratory deadspace and their variation with pressure breathing and with bronchoactive drugs. *J. Appl. Physiol.*, 8, 102.

Fowler K. T., Hugh-Jones P., O'Donnell T. V. (1957): Measurement of ventilation-perfusion ratio inequality in the lung by analysis of single expirate. *Clin. Sci. Lond.* 16, 529–548.

Fowler W.S. (1948): Lung function studies. II: The respiratory deadspace. *Am. J. Physiol.* 154, 405.

Gallivan G.J., Viel L., McDonell W.N. (1990): An Evaluation of the Multiple-breath Nitrogen Washout as a Pulmonary Function Test in Horses. *Can. J. Vet. Res.* 54; 99–105.

Herholz C. (1993): Beeinflussung der Leistung im submaximalen Belastungsbereich durch den Gesundheitszustand der Lunge: eine klinische Studie an 112 Dressur- und Springpferden. *Vet. Med. Diss., Bern.*

Herholz C., Tschudi P., Gerber H., Moens Y., Straub R. (1997): Ultrasound spirometry in the horse: a preliminary report on the method and the effects of xylazine and lobeline hydrochloride medication. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 139, 558–563.

Herholz C. (1998): Therapiekontrolle mittels Ultraschall-Spirometrie und Kapnographie bei lungenkranken Pferden. *DVG, Wiesbaden.*

Jäggin J. (1997): Klinische Anwendung der Lungenventilationsszintigraphie beim lungenkranken Pferd. *Vet. Med. Diss., Bern.*

- Kars A. H., Goorden G., Stijnen T., Bogaard J. M., Verbraak A. F. M., Hilvering C. (1995): Does phase 2 of the expiratory P_{CO_2} versus volume curve have diagnostic value in emphysema patients? *Eur. Respir. J.* 8, 86–92.
- Kars A. H., Bogaard J. M., Stijnen T., de Vries J., Verbraak A. F. M., Hilvering C. (1997): Dead space and slope indices from the expiratory carbon dioxide tension-volume curve. *Eur. Respir. J.* 10, 1829–1836.
- Kleiber C. (1996): Phänotypisierung von T-Lymphozyten aus bronchoalveolärer Lavageflüssigkeit von chronisch lungenkranken und lungengesunden Pferden. *Vet. Med. Diss.*, Bern.
- Meister U., Gerber H., Tschudi P. (1976): Die arterielle Blutgasanalyse in der Diagnostik und Überwachung chronisch lungenkranker Pferde. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 118, 99–104.
- Moens Y.P.S. (1992): Ventilation and gas exchange in each lung of the anaesthetised horse. The influence of body position and mechanical ventilation. Proefschrift, University of Utrecht.
- Muyllé E., Oyaert W. (1973): Lung Function Tests in Obstructive Pulmonary disease in Horses. *Equine Vet. J.* 5, 37–44.
- Muyllé E., Van Den Hende C., Oyaert W. (1972): Nitrogen clearance in horses as a respiratory function test. *Zbl. Vet. Med. A*, 19, 310–317.
- Neufeld G.R., Gobran S., Baumgardner J.E., Aukburg S.J., Schreiner M., Scherer P.W. (1991): Diffusivity, respiratory rate and tidal volume influence inert gas expirograms. *Resp. Physiol.* 84, 31–37.
- Nyman G., Lindberg R., Weckner D., Björk M., Kvarn C., Persson S. G. B. (1991): Pulmonary gas exchange correlated to clinical signs and lung pathology in horses with chronic bronchiolitis. *Equine vet. J.* 23, 253–260.
- O'Callahan M.W. (1991): Scintigraphic imaging of lung disease. In: *Equine Respiratory disorders*, Ed. J. Beech, Lea et Febiger, Philadelphia, 129–141.
- Ohnesorge B., Trötschel Ch., Deegen E. (1998): Bestimmung von Totraum und expiratorischem Mischluftvolumen zur Diagnostik chronischer Lungenerkrankungen beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 14, 450–455.
- Petsche V.M., Derksen F.J., Robinson N.E. (1994): Tidal breathing flow-volume loops in horses with recurrent airway obstruction (heaves). *Am. J. Vet. Res.* 55, 885–891.
- Purchase I.F.H. (1966): The measurement of Compliance and other Respiratory parameters in Horses. *Vet. Rec.* 78, 613–615.
- Ream R.S., Schreiner S.M., Neff J.D., McRae K.M., Jawad A.F., Scherer P.W., Neufeld G.R. (1995): Volumetric capnography in Children. Influence of Growth on the Alveolar Plateau Slope. *Anesthesiology* 82, 64–73.
- Reinhardt H.J., Denac M., Spörri H. (1972): Die Bestimmung des Atemvolumens durch Impedanzmessung beim Pferd. *Zbl. Vet. Med. A*, 19, 843–850.
- Sasse H. H. L. (1971): Some Pulmonary Function Tests in Horses. An Aid to an Early Diagnosis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (heaves) in Horses. Proefschrift, Brander Offset N.V., Rotterdam.
- Schward J.D., Gobran S.R., Neufeld G.R., Aukburg S.J., Scherer P.W. (1991): Sensitivity of CO_2 Washout to changes in Acinar Structure in a Single-Path Model of Lung Airways. *Ann. Biomed. Eng.* 19, 679–697.
- Schwardt J.D., Neufeld G.R., Baumgardner J.E., Scherer P.W. (1994): Non invasive Recovery of Acinar Anatomic Information from CO_2 Expirograms. *Ann. Biomed. Eng.* 22, 293–306.
- Spörri H., Denac M. (1967): Lungenfunktionsprüfungen bei Grosstieren. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 109, 252.
- Spörri H., Denac M. (1970): Zur Diagnostik intrapulmonaler Ventilationsstörungen. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 112, 408.
- Spörri H., Denac M. (1970): Der Stickstoff-Einwaschungstest im Dienste der Lungenfunktionsprüfung. *Zbl. Vet. Med. A* 17, 845–856.
- Spörri H., Leemann W. (1964): Zur Untersuchung der Lungenmechanik bei Grosstieren. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 106, 699–713.
- Spörri H., Zerobin K. (1968): Zur Physiologie und Methodik der Lungenfunktionsprüfung. *Tierärztl. Umschau* 19, 285.
- Ueltschi G., Jäggin C. (1996): Lungenszintigraphie beim Pferd. 14. Arbeitstagung der Fachgruppe Pferdekrankheiten, DVG Wiesbaden.
- Worth H. (1985): Zur Diagnostik des Lungenemphysems. Analyse des Mischluftanteils expiratorischer Partialdruckkurven von He, Ar, SF_6 und CO_2 . Stuttgart - New York, Coppythek, Thieme.
- Worth H. (1986): Expiratory partial pressure curves in the diagnostic of emphysema. *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* 22, 191–199.

Korrespondenzadresse

Dr. C. Herholz
Klinik für Nutztiere und Pferde der Universität Bern
Länggass-Strasse 124
CH-3012 Bern