

**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:** 106 (1964)

**Heft:** 11

**Artikel:** Zur Untersuchung der Lungenmechanik bei Grosstieren

**Autor:** Spörri, H. / Leemann, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-593665>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

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

Aus dem Veterinär-Physiologischen Institut  
(Direktor: Prof. Dr. H. Spörri)  
und der Veterinär-Medizinischen Klinik der Universität Zürich  
(Direktor: Prof. Dr. W. Leemann)

## Zur Untersuchung der Lungenmechanik bei Großtieren<sup>1</sup>

Von H. Spörri und W. Leemann

### I. Einleitung

Untersuchungen der Lungenmechanik, zu denen vor allem die Prüfung der Elastizität bzw. Dehnbarkeit des Lungengewebes, sowie des Strömungswiderstandes der Luft in den Atemwegen gehört, sind bisher an lebenden Großtieren selten durchgeführt worden<sup>2</sup>. Der Grund dafür ist in technischen Schwierigkeiten zu suchen. Mit der Entwicklung von Registriergeräten, welche die gleichzeitige Aufzeichnung mehrerer physiologischer Vorgänge erlauben, sowie von Elektromanometern und elektronischen Rechenmaschinen (Integratoren) sind diese Schwierigkeiten zum großen Teil behoben worden.

Die Prüfung der Lungenmechanik basiert auf der gleichzeitigen Registrierung des Pneumotachogrammes (Pneumotachographie), des Spirogrammes (Spirographie) und des Interpleuraldruckes (Noelpp und Noelpp-Eschenhagen, 1951 [6]; 1954 [7]; Rossier, Bühlmann und Wiesinger, 1956 [9]; Scherrer, Bucher und Kostyal, 1958 [10]).

### II. Methodisches zur Untersuchung der Lungenmechanik

#### 1. *Pneumotachographie*

Das Pneumotachogramm (Ptg) bringt die in jedem Zeitpunkt eines Atemzuges herrschende Atemstromstärke zur Darstellung (Abb. 1).

Gleichzeitig erlaubt es die exakte Messung der Dauer der Ein- und Ausatemungsphase, die ihrerseits die Unterlage für die Ermittlung des diagnostisch wichtigen Atemzeitquotienten (AZQ), das heißt des Verhältnisses von Expirationsdauer : Inspirationsdauer liefert.

<sup>1</sup> Untersuchungen mit Hilfe eines Beitrages des Schweizerischen Nationalfonds (Kredit-Nr. 2413).

<sup>2</sup> An Sektionsmaterial wurden Messungen der Lungenelastizität von verschiedenen Autoren vorgenommen. Erwähnt seien lediglich die Arbeiten von Ammann, 1939 [1] und Hug, 1937 [5], in welchen auch die einschlägige Literatur angeführt ist.

Obel und Schmitterlöw [8] führten 1948 interpleurale Druckmessungen bei Pferden mit Lungenemphysem aus und erhielten mit dieser Methode bereits einen guten Einblick in das Verhalten des Tonus der Bronchialmuskulatur.

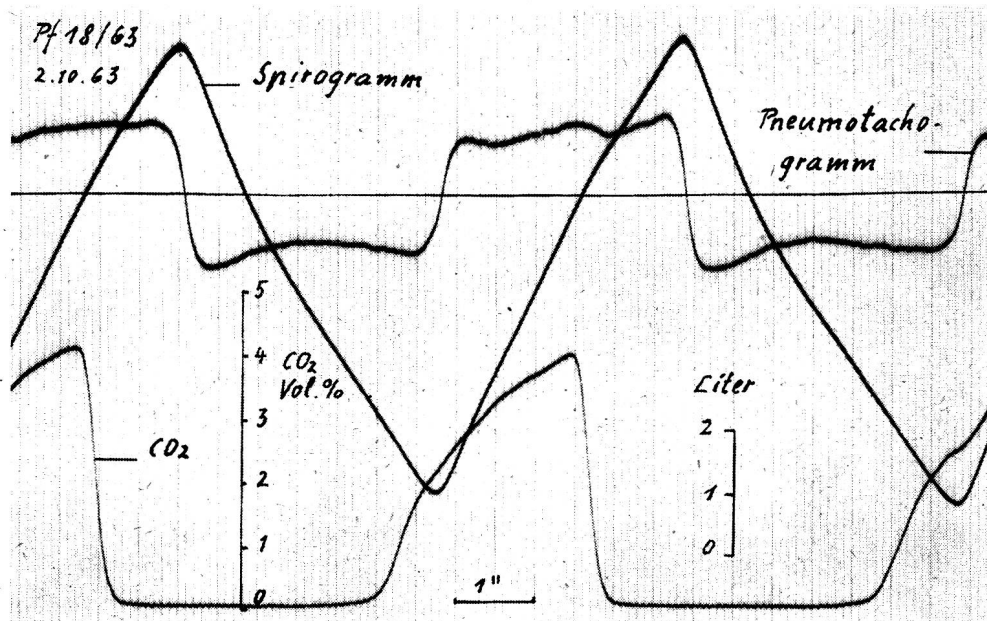


Abb. 1 Simultane Registrierung eines Spirogrammes und Pneumotachogrammes sowie des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes in der Atmungsluft bei einem Pferd (Prot. Nr. 18/63) mit normalem Atmungsapparat. Spirogramm: absteigender Schenkel = Inspiration, aufsteigender Schenkel = Expiration. Die Einatmungsphase mißt 3,25 Sekunden, die Ausatmungsphase 3,10 Sekunden. Der Atemzeitquotient ( $\frac{\text{Expirationsdauer}}{\text{Inspirationsdauer}}$ ) beträgt somit 0,95. Pneumotachogramm: Der Kurvenzug unterhalb der horizontalen Linie entspricht der Stromstärke der Atemluft, während der Inspiration. Der Kurvenzug oberhalb der horizontalen Linie entspricht der Stromstärke der Atemluft während der Expiration. Im Moment, da die Kurve die horizontale Linie kreuzt, ist die Strömungsgeschwindigkeit Null. Die Kurve zeigt somit, daß die Inspiration ohne Atempause in die Expiration bzw. die Expiration ohne Pause in die Inspiration übergeht. Die Zubzw. Abnahme der Atemstromstärke ist ganz zu Beginn bzw. am Ende einer Atmungsphase am größten. In der mittleren Phase der Ein- bzw. Ausatmung ist die Atemstromstärke längere Zeit ziemlich konstant, weshalb auch der An- und Abstieg des Spirogrammes gleichmäßig erfolgt, das heißt eine fast gerade Linie darstellt. Die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationskurve weist gegenüber dem Pneumotachogramm und Spirogramm eine Verspätung von etwa 1,7 Sekunden auf. Diese ist auf den Umstand zurückzuführen, daß es etwa 1,7 Sekunden dauert, bis die Atmungsluft von der Atmungsmaske zum  $\text{CO}_2$ -Analysator (Ultrarotabsorptionsschreiber, URAS) gelangt.

Von besonderer Bedeutung für die Lungenfunktionsprüfung bei Großtieren ist der Umstand, daß sich aus dem Pneumotachogramm das Spirogramm errechnen läßt (s. u.). Bei unseren Untersuchungen hat sich der vom Physiologen A. Fleisch, 1925 [3] konstruierte Apparat gut bewährt. Das Prinzip dieses Pneumotachographen beruht auf dem Poiseuillschen Gesetz, wonach bei laminären Strömungen von Flüssigkeiten oder Gasen in engen, starren Röhren die Strömungsgeschwindigkeit der Druckabnahme proportional ist.

Das Ptg stellt somit eigentlich nichts anderes dar als die Registrierung von Druckdifferenzen in einem von der Atemluft durchströmten Rohr. Nach entsprechender Eichung gibt das Gerät die Stromstärke der Luft (Volumengeschwindigkeit, Liter pro Sekunde) an.

Die Größe des Pneumotachographen muß dem zu messenden Stromvolumen angepaßt werden. Bei Verwendung von zu kleinen Geräten besteht

die Gefahr, daß die Luftströmung in die turbulente Form umschlägt. Richtige Resultate sind aber nur bei laminarer Strömung zu erhalten.

Die Handhabung des Pneumotachographen ist einfach. Es braucht lediglich der zylindrische Apparat von etwa 4cm Durchmesser und 8cm Länge auf eine Atmungspause aufgesetzt und dafür gesorgt zu werden, daß die gesamte Atmungsluft durch den Pneumotachographen strömt (Abb. 2).

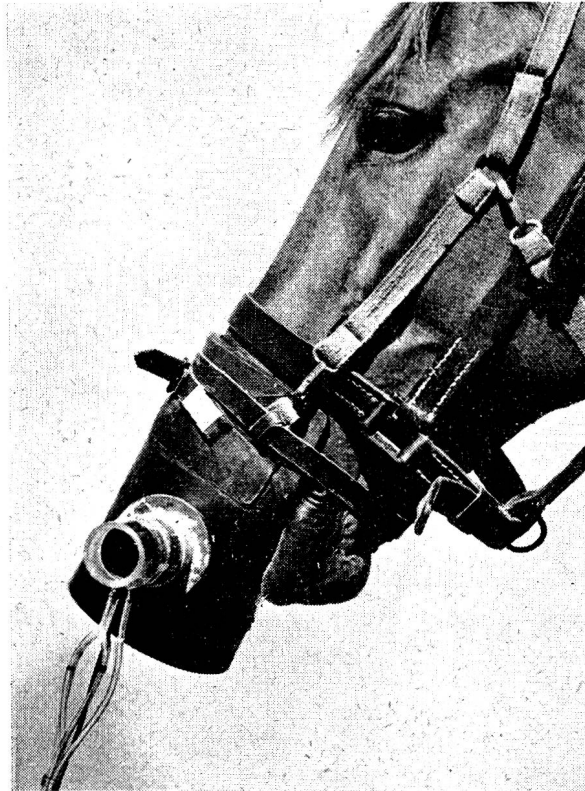


Abb. 2. Pferd mit Atmungsmaske (Oberkiefermaske), auf welche der Pneumotachograph montiert ist.

## 2. Spirographie

Das Spirogramm (Spg) stellt die graphische Aufzeichnung der bei der Atmung auftretenden Änderungen des Lungenvolumens dar (Abb. 1).

Es gibt somit Auskunft über das während der In- bzw. Expiration gewechselte Luftvolumen und die Dauer der Atmungsphasen. Bisher wurden Spirogramme vorwiegend in der Weise registriert, daß das zu untersuchende Tier an einen nach dem Gasometerprinzip konstruierten Luftbehälter angeschlossen wurde. Hierbei entzieht das Tier bei der Einatmung die Luft dem Gasometer, wodurch sich dessen Glocke senkt. Bei der Ausatmung strömt die Expirationsluft in das Gasometer zurück, wobei durch die Zwischenschaltung eines  $\text{CO}_2$ -Absorbers (Natronkalk, Kalilauge) gleichzeitig für den Entzug der  $\text{CO}_2$  gesorgt wird. Die Auf- und Abbewegungen der Gasometerglocke werden registriert und ergeben das Spirogramm. Bei jeder Ausatmung geht die Glocke infolge der  $\text{O}_2$ -Aufnahmen in der Lunge nicht mehr ganz in die



Ausgangslage zurück. Es wird also gleichzeitig auch die Größe des  $O_2$ -Verbrauches aufgezeichnet.

Aus technischen Gründen ist die eben beschriebene Methode bei Großtieren schwer anwendbar (große Trägheit der Gasometerglocke infolge ihrer beträchtlichen Dimensionen bzw. des großen Gewichtes; fehlerhafte Luftvolumenregistrierungen bei kleinen Temperaturänderungen usw.). Viel einfacher und genauer gestaltet sich die Spirographie bei Großtieren durch die Registrierung des Pneumotachogrammes und dessen Integration. Die Integration geschieht durch eine elektronische Rechenmaschine (Integrator). Die ermittelten Werte werden in Form elektrischer Impulse einem Registriergerät (Kathodenstrahloszillograph, Schleifenoszillograph oder dgl.) übermittelt und von diesem als Spirogramm aufgezeichnet. Durch Multiplikation der Atemzüge/Min. mit dem Atemvolumen kann auch das Atemminutenvolumen berechnet werden.

### 3. Registrierung des Interpleuraldruckes

Beim Menschen wird der Interpleuraldruck (auch Intrathorakaldruck bzw. Pleuraldruck genannt) zu diagnostischen Zwecken meistens durch Messung des Druckes im thorakalen Teil des Ösophagus mit entsprechenden Sonden eruiert. Der Druck im thorakalen Ösophagus entspricht bei schlaffer Beschaffenheit der Ösophaguswand annäherungsweise dem Intrathorakal- bzw. Interpleuraldruck. Auch wir haben beim Pferd vorerst versucht, den Intrathorakaldruck auf die eben beschriebene Art festzustellen. Dieses Vorgehen hätte den Vorteil, daß keine direkte Punktion des Thoraxraumes ausgeführt werden müßte. Unsere Bemühungen ergaben aber unbefriedigende Resultate. Wir registrierten deshalb den Intrathorakaldruck durch direkte Punktion des Interpleuralspalttes via Brustwand. Eine dauernde Infusion von steriler, antibiotikahaltiger physiologischer NaCl-Lösung durch die Punktionskanüle (etwa 0,1 ml/Min.) in den Interpleuralspalt verhütet dabei, daß sich die Lunge direkt auf die Öffnung der Kanüle anlegen kann, wodurch eine zuverlässige Druckmessung unmöglich würde.

## III. Zur Physiologie der Atmungsmechanik

Untersuchungen der Atmungsmechanik geben vor allem Auskunft über die Elastizitätsverhältnisse des Lungengewebes und den Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen. Es sind dies zwei Parameter, welche einen wertvollen Hinweis auf die Beschaffenheit der Lunge geben.

### 1. Die Retraktionskraft der Lunge (elastischer Lungenzug)

Unter normalen Verhältnissen befindet sich die Lunge in einem geblähten bzw. gedehnten Zustand. Sie ist mit einem aufgeblasenen Luftballon vergleichbar. Diese Tatsache ist leicht zu erkennen, wenn der Thorax eröffnet wird. Die gedehnte Lunge erhält so die Möglichkeit, sich zusammenzuziehen.

Solange aber die Lunge hermetisch im Thorax eingeschlossen ist, hat sie diese Möglichkeit nicht, denn es würde ja dabei zwischen der Lungenoberfläche (Pleura pulmonalis) und der Thoraxwand (Pleura parietalis) ein Vakuum mit dem Druck Null entstehen, während im Lungeninnern (Bronchien, Alveolen), welches durch die Atemwege mit der Außenatmosphäre in offener Verbindung steht, ein ziemlich großer Druck herrscht, der ungefähr mit dem Druck in der Außenatmosphäre übereinstimmt. (Für das schweizerische Mittelland beträgt der mittlere Atmosphärendruck etwa 720 mm Hg.) Die unter Druck stehende Atmosphärenluft ist es also, welche die leicht dehnbaren Lungenalveolen aufbläht, und zwar so lange, bis die Lungenoberfläche dicht der Thoraxwand anliegt.

Die oft geäußerte Meinung, die Lunge hafte wegen der Adhäsion der feuchten Lungenoberfläche der Thoraxwand an und folge auch wegen dieser Adhäsion zwischen den beiden Pleurablättern den Bewegungen der Thoraxwand bei der Inspiration, ist falsch. Wie Experimente und Berechnungen ergeben, macht die erwähnte Adhäsionskraft nicht einmal  $\frac{1}{2000}$  der Retraktionskraft (s.u.) der Lunge aus und ist somit praktisch bedeutungslos. Was häufig fälschlicherweise als Adhäsion der beiden Pleurablätter angesprochen wird, ist effektiv nichts anderes als die Wirkung der Oberflächenspannung, wenn Luft in einen mit Flüssigkeit gefüllten Spaltraum, wie der Interpleuralspalt einen darstellt, eindringen soll. Diese Oberflächenspannung spielt aber physiologisch keine Rolle, da im Pleuraspaltraum keine Luft, sondern eine ganz dünne Flüssigkeitsschicht vorhanden ist.

So wie ein Gummiband einer Dehnung einen Widerstand entgegensetzt, so leistet auch die Lunge einer Blähung einen gewissen Widerstand. Diese Widerstandskraft wird als Retraktionskraft bzw. elastischer Lungenzug bezeichnet.

Infolge dieser Retraktionskraft liegt die Lungenoberfläche (Pleura pulmonalis) nicht mit dem vollen Druck, der im Innern der Lunge herrscht, der Brustwand (Pleura parietalis) an. Der Druck im Interpleuralspalt ist daher kleiner als der Intrapulmonaldruck (Druck in den Alveolen). Mit andern Worten: Im Interpleuralspalt herrscht ein gewisser Unterdruck.

Der Interpleuraldruck (oft einfach Pleuraldruck genannt) ist die Resultante von zwei einander entgegengesetzt gerichteten Kräften. Er entspricht der Differenz von Intrapulmonaldruck und Retraktionskraft der Lunge. Der Intrapulmonaldruck preßt die Lunge gegen die Thoraxwand, die Retraktionskraft der Lunge reduziert diesen Druck, indem sie die Lunge von der Thoraxwand abheben möchte. Unter statischen Verhältnissen, das heißt in Phasen, während deren in den Atemwegen keine Luftströmung vorhanden ist (wie im Moment des Überganges der Inspiration in die Expiration oder der Expiration in die Inspiration), entspricht der Intrapulmonaldruck dem Atmosphärendruck ( $P_{\text{atm}}$ ). Unter solchen Verhältnissen gilt die Gleichung:

$$P_{\text{pl}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{el}}$$

- $P_{\text{pl}}$  = Interpleuraldruck (Pleuraldruck)  
 $P_{\text{atm}}$  = Atmosphärendruck (entspricht unter statischen Verhältnissen dem Intrapulmonaldruck)  
 $P_{\text{el}}$  = Retraktionskraft der Lunge (elastischer Lungenzug)

## 2. Statisches Volumen-Druck-Diagramm

Wie bereits erwähnt, hängt die Größe der Retraktionskraft der Lunge vom Grad der Luftfüllung der Lunge ab. Sie ist um so größer, je stärker die Lunge gebläht ist. Im Laufe einer Einatmung nimmt die Retraktionskraft daher sukzessive zu. Dies hat zur Folge, daß auch der Unterdruck im Interpleuralspalt im Verlaufe der Inspiration fortlaufend größer wird. Die Bestimmung des statischen Volumen-Druck-Diagrammes erfolgt in der Weise, daß stufenweise ein- oder ausgeatmet wird und bei jeder Stufe, das heißt bei verschiedenen Füllungsgraden der Lunge, der Atem kurz angehalten und dabei der Interpleuraldruck gemessen wird.

Bei Tieren ist die Bestimmung des statischen Volumen-Druck-Diagrammes auf diese Weise nicht möglich, denn sie ist von der Mitarbeit des Probanden abhängig. Beim Tier müßten hierzu die Spontanatmung durch Muskelrelaxantien ausgeschaltet und zugleich durch künstliche Beatmung nach dem Unterdruckprinzip die verschiedenen Atemlagen hergestellt werden.

Die Abbildung 3 stellt das statische Volumen-Druck-Diagramm eines erwachsenen Menschen dar. Die Änderung des Lungenvolumens ( $\Delta \text{Vol. Lg}$ ) ist auf der Abszisse, diejenige des Interpleuraldruckes ( $\Delta \text{P pl}$ ) auf der Ordinate eingetragen. In den mittleren Atmungslagen ist der Verlauf der Kurve geradlinig. Bei tiefster Einatmung (mehr als vier Liter) wird der Intrathorakal- bzw. Ösophagusdruck schon bei kleinen Volumenzunahmen der Lunge stark negativ, weil die Dehnbarkeit der Lunge mit zunehmender Blähung ziemlich unvermittelt stark abnimmt bzw. die Retraktionskraft zunimmt. Bei sehr starker Ausatmung wird der Intrathorakal- bzw. Ösophagusdruck sogar positiv, was folgenderweise zu erklären ist: Bei stärkster Ausatmung kommt es zum Kollaps von feinen Bronchien. Dadurch wird die Luft gewisser Alveolarbezirke von der Außenatmosphäre abgeschlossen. Die in diesen Alveolen gefangene Luft («trapped air») wird bei maximaler Expiration komprimiert. Diese Kompression wirkt sich in der Weise aus, daß die Pleura

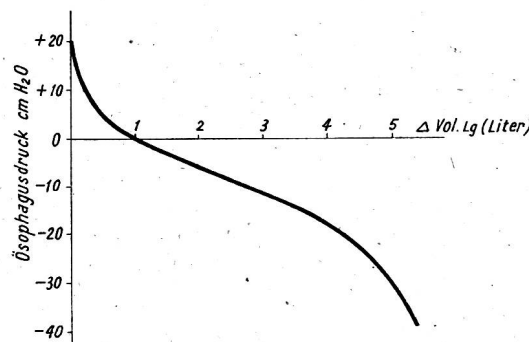


Abb. 3 Statisches Volumen-Druck-Diagramm eines erwachsenen Menschen (umgezeichnet nach Scherrer, Bucher und Kostyal, 1958 [10]). Der Ösophagusdruck entspricht etwa dem Interpleuraldruck. In mittleren Atmungslagen (normales Atemvolumen) ist der Verlauf des Diagrammes (Elastizitätskurve) geradlinig. Bei tiefster Einatmung (über vier Liter) wird der Ösophagusdruck (Interpleuraldruck) stark negativ, weil in der Lunge zusätzliche Retraktionskräfte wirksam werden. Bei tiefster Ausatmung wird der Interpleuraldruck infolge der Kompression der Lungen durch den Thorax positiv. Die statische Elastance ( $E_{\text{stat}}$ ) beträgt in dem abgebildeten Fall 4,5; die statische Compliance ( $C_{\text{stat}}$ ) 0,22.

pulmonalis einen Druck auf die Thoraxwand ausübt. Der Druck im Interpleuralspalt wird dadurch höher als der Druck der Außenatmosphäre. Dieses Phänomen findet man zum Beispiel bei Lungenemphysem höheren Grades schon in den gewöhnlichen Atmungslagen (Abb. 6).

Ein flacher Verlauf des Volumen-Druck-Diagrammes deutet auf eine geringe Änderung der Retraktionskraft der Lunge bei gegebener Volumenänderung der Lunge hin. Mit andern Worten, die Dehnbarkeit des Lungengewebes ist groß. Ein steiler Verlauf der Kurve zeigt hingegen ein relativ starres Lungengewebe an, welches einer Blähung einen großen Widerstand entgegensetzt.

Wir stellen fest: die Messung des Unterdruckes im Interpleuralspalt bei verschiedenen Graden der Luftfüllung der Lunge gibt Aufschluß über die Elastizität bzw. Dehnbarkeit des Lungengewebes. Für eine solche Messung ist die gleichzeitige Registrierung der Änderungen des Lungenvolumens ( $\Delta \text{Vol Lg}$ ) und des Interpleuraldruckes ( $\Delta \text{P pl}$ ) nötig.

### 3. Die Elastance bzw. Compliance der Lunge

Zur Charakterisierung der Elastizität bzw. Dehnbarkeit des Lungengewebes wurden in der Atmungsphysiologie die Begriffe «Elastance» bzw. «Compliance» eingeführt. Es sind dies Begriffe, die bis anhin in der Veterinärmedizin noch relativ wenig bekannt sind. Unter *Elastance*,  $E$ , versteht man den Quotienten

$$\frac{\Delta \text{P pl}}{\Delta \text{Vol Lg}} = E$$

$\Delta \text{P pl}$  = Änderung der Retraktionskraft der Lunge, gemessen als Änderung des Interpleuraldruckes in cm  $\text{H}_2\text{O}$ )

$\Delta \text{Vol Lg}$  = Änderung der Luftfüllung der Lunge gemessen in Litern

Unter *Compliance*,  $C$ , versteht man den reziproken Wert der Elastance, also den Quotienten

$$\frac{\Delta \text{Vol Lg}}{\Delta \text{P el}} = C$$

Die Elastance ist klein bzw. die Compliance ist groß, wenn die Lunge leicht dehnbar ist, einer gegebenen Zunahme der Luftfüllung also keinen großen Widerstand entgegensetzt. Die Elastance ist hingegen groß bzw. die Compliance klein, wenn die Lunge relativ starr ist und daher einer Erweiterung einen großen Widerstand entgegensetzt (Vorkommen: Sklerose des Lungengewebes, starke Füllung [Stauung] der Lungenblutgefäße usw.).

Wie oben bereits erwähnt wurde, macht die Bestimmung des statischen Volumen-Druck-Diagrammes beim Tier erhebliche Schwierigkeiten, weil dieses nicht imstande ist, dem Wunsch des Untersuchers entsprechend, seinen Atem in bestimmten Phasen der In- oder Expiration anzuhalten.

Viel leichter gestaltet sich beim Tier die Eruierung des sog. dynamischen Volumen-Druck-Diagrammes, welches ebenfalls einen Hinweis auf die Lun-

genelastizität gibt, dazu aber noch wichtigen Aufschluß über die Größe des Luftströmungswiderstandes in den Atemwegen erteilt.

### 3. *Dynamisches Volumen-Druck-Diagramm (sog. Atmungsschleife)*

Unter dynamischen Verhältnissen, das heißt wenn geatmet wird, die Luft in den Atemwegen sich also in Strömung befindet, wird der Interpleuraldruck nicht nur durch die Retraktionskraft der Lunge, sondern durch weitere Faktoren bestimmt. Es sind dies:

1. der *Reibungswiderstand* der strömenden Luft in den Atemwegen;
2. der *Deformationswiderstand* der Lunge, d.i. der Widerstand, den das Lungengewebe infolge der Reibung seiner Strukturelemente aneinander einer Erweiterung oder Verkleinerung der Lunge entgegensetzt;
3. der *Trägheitswiderstand*, d.i. der Widerstand, den die Gasmasse in den Atemwegen und die Gewebsmasse der Lunge einer positiven oder negativen Beschleunigung (Änderung des Bewegungszustandes) entgegensetzt.

Der unter Ziffer 3 erwähnte Trägheitswiderstand ist so gering, daß wir ihn in den nachfolgenden Ausführungen unberücksichtigt lassen wollen.

Die unter den Ziffern 1 und 2 aufgeführten Widerstände (Reibungswiderstand der strömenden Luft, Deformationswiderstand) werden üblicherweise unter dem Begriff des sog. viskösen Widerstandes (*Viscanse*,  $P_{\text{visc}}$ ) zusammengefaßt. Dieser visköse Widerstand besteht hauptsächlich aus dem Reibungswiderstand der strömenden Luft in den Atemwegen (Ziffer 1); der Deformationswiderstand des Lungengewebes (Ziffer 2) spielt eine relativ kleine Rolle. Es darf deshalb gesagt werden, daß der Interpleuraldruck unter dynamischen Bedingungen in erster Annäherung einerseits durch die Retraktionskraft der Lunge (analog den statischen Verhältnissen, siehe oben), andererseits durch den Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen bestimmt wird.

Während der *Inspiration* wirkt sich der Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen in der Weise aus, daß der Druck in den Lungenalveolen (Interpulmonaldruck) kleiner ist als der Atmosphärendruck, m.a.W., es kommt während der Inspiration infolge des Strömungswiderstandes nicht momentan zu einem Druckausgleich zwischen der Außenatmosphäre und den Alveolen. Dieser durch den Strömungswiderstand hervorgerufene intrapulmonale Unterdruck addiert sich zu demjenigen, der durch die Retraktionskraft der Lunge bedingt ist.

Für die Inspirationsphase gilt somit die Gleichung:

$$P_{\text{pl}} = P_{\text{atm}} - (P_{\text{el}} + P_{\text{visc}})$$

$P_{\text{pl}}$  = Interpleuraldruck

$P_{\text{atm}}$  = Atmosphärendruck

$P_{\text{el}}$  = Retraktionskraft der Lunge (elastischer Lungenzug)

$P_{\text{visc}}$  = Visköser Widerstand<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wie ausgeführt, besteht  $P_{\text{visc}}$  zur Hauptsache aus dem Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen und zum kleinen Teil aus dem Deformationswiderstand des Lungengewebes.



Aus dieser Formel geht hervor, daß der Interpleuraldruck während der Einatmung kleiner bzw. daß der interpleurale Unterdruck größer ist, als er bei gleicher Lungenfüllung wäre, wenn keine Luftströmung vorhanden wäre.

Während der Expiration wirkt sich der Strömungswiderstand der Luft in der Weise aus, daß der Druck in den Lungenalveolen größer ist als der Atmosphärendruck. Durch die Verengerung des Thorax bzw. der Lunge wird die Luft in den Alveolen etwas komprimiert und damit der Druck in den Alveolen erhöht. Dieser intrapulmonale Überdruck ist ja der Grund dafür, daß die Luft aus den Alveolen nach außen strömt.

Für die Expirationsphase gilt somit die Gleichung:

$$P_{pl} = P_{atm} - (P_{el} - P_{visc})$$

Aus dieser Formel geht hervor, daß der Interpleuraldruck während der Ausatmung größer ist bzw. daß der interpleurale Unterdruck kleiner ist, als er bei gleicher Lungenfüllung wäre, wenn keine Luftströmung vorhanden wäre.

Bestimmt man das dynamische Volumen-Druck-Diagramm in der Weise, daß die Änderungen des Lungenvolumens während eines Atemzuges ( $\Delta Vol_{Lg}$ ) auf der Abszisse und die Änderungen des Interpleuraldruckes ( $\Delta P_{pl}$ ) auf der Ordinate abgetragen werden, dann erhält man ein schleifenförmiges Diagramm, welches als *Atmungsschleife* bezeichnet wird.

Verbindet man den Punkt des Interpleuraldruckes (am Ende der Ausatmung) mit demjenigen am Ende der Einatmung, so erhält man die Schleifendiagonale.

Die auf der Schleifendiagonale gelegenen Interpleural-Druckwerte entsprechen – von gewissen pathologischen Lungenverhältnissen abgesehen – den Druckwerten, die unter statischen Verhältnissen erhalten würden. Unter Normalverhältnissen gibt somit die Schleifendiagonale Auskunft über die Elastizität bzw. Dehnbarkeit des Lungengewebes (vgl. statisches Volumen-Druck-Diagramm). Verläuft die Schleifendiagonale flach, so bedeutet dies eine leichte Dehnbarkeit (große Compliance, kleine Elastance) (Abb. 7); verläuft die Schleifendiagonale hingegen steil, so bedeutet dies eine geringe Dehnbarkeit (kleine Compliance, große Elastance) des Lungengewebes (Abb. 9).

Der Abstand der Schleifenpunkte von der Schleifendiagonalen (punktierte Linien in Abb. 7) stellen ein Maß für den viskösen Widerstand bei der Atmung (hauptsächlich den Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen) dar.

Je größer der Abstand der Schleife von der Diagonalen, desto größer ist also der Reibungswiderstand der Luft in den Atemwegen (Abb. 9). Ist die Schleife schmal, so bedeutet dies einen kleinen Strömungswiderstand (Abb. 7, nach Atropin). Wäre der Luftströmungswiderstand (und der Deformationswiderstand) Null, so würde sich die Atmungsschleife überhaupt nicht öffnen, das heißt, sie würde mit der Schleifendiagonale zusammenfallen.



Entfernt sich der inspiratorische (untere) Schleifenteil weit von der Schleifendiagonalen, so ist der visköse Widerstand während der Einatmung groß. Zeigt hingegen der expiratorische (obere) Schleifenteil weite Abstände von der Schleifendiagonalen, so ist der visköse Widerstand während der Ausatmung groß.

#### *4. Arbeit für die Lungenventilation*

Die Fläche einer Atmungsschleife entspricht dem Produkt aus Volumen ( $\text{cm}^3$ ) und Druck ( $\text{g/cm}^2$ ), was einer Arbeit oder Energie ( $\text{g} \cdot \text{cm}$ ) gleichkommt. Der Flächeninhalt der Atmungsschleife, der durch Planimetrie ermittelt werden kann, stellt ein Maß für die Arbeit dar, welche für die Lungenventilation während eines Atemzuges geleistet werden muß.

### **III. Bedeutung atmungsmechanischer Untersuchungen**

Aus den obigen Ausführungen geht hervor, daß es heute auch bei Großtieren möglich ist, folgende Parameter der Atmungsphysiologie zu bestimmen:

1. die Atemstromstärke in jedem Zeitpunkt eines Atemzuges;
2. das Atemvolumen;
3. die Dauer der Inspiration und Expiration bzw. den Atemzeitquotienten (Relation der Expirationsdauer : Inspirationsdauer);
4. die Elastizität des Lungengewebes bzw. die sog. dynamische Compliance und Elastance;
5. den viskösen Widerstand (in erster Annäherung dem Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen entsprechend);
6. die Größe der Arbeit für die pulmonale Ventilation.

Durch die objektive und quantitative Erfassung dieser Parameter sollte es möglich sein, die Atmungstätigkeit bei den verschiedensten Affektionen des Respirationsapparates besser zu beurteilen, als dies mit den üblichen klinischen Methoden der Adspektion, Auskultation und Perkussion der Fall ist. Sind einmal die Verhältnisse bei den diversen Erkrankungen des Atmungsapparates bekannt, dann ergeben die beschriebenen atmungsmechanischen Untersuchungen wertvolle diagnostische Hinweise (qualitative und quantitative Differenzierung verschiedener Bronchostenosetypen, Abgrenzung derselben von nicht bronchospastisch bedingten Dyspnoeformen, sklerotische Veränderungen des Lungengewebes usw.).

Aufschlußreich dürften atmungsmechanische Untersuchungen für das Studium von Arzneimittelwirkungen, Klima- bzw. Wetterfaktoren usw. bei den verschiedensten Lungenaffektionen (Lungenemphysem, spastische Bronchitis usw.) sein. Auch bei der Abklärung des Einflusses von Narkotika, Luftverunreinigungen und Toxinen aller Art auf dem Atmungsapparat werden atmungsmechanische Studien wertvolle Resultate zeitigen.

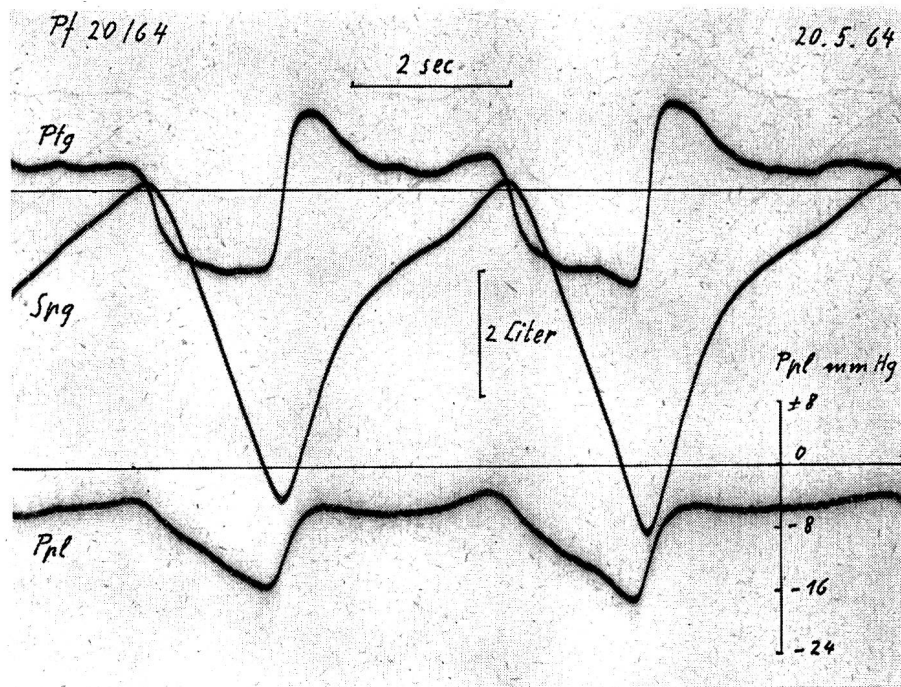


Abb. 4 Pneumotachogramm (Ptg), Spirogramm (Spg) und Interpleuraldruck (Ppl) von einem Pferd (Prot. Nr. 20/64) mit leichtem Lungenemphysem. Die Ausatemungsphase ist fast doppelt so lang als die Einatemungsphase (Atemzeitquotient: 1,96). Auffällig ist die große Luftströmungsgeschwindigkeit zu Beginn der Ausatemungsphase, die in der Folge plötzlich stark abnimmt. Der Interpleuraldruck ist während des ganzen Atemzuges kleiner als der Atmosphärendruck.

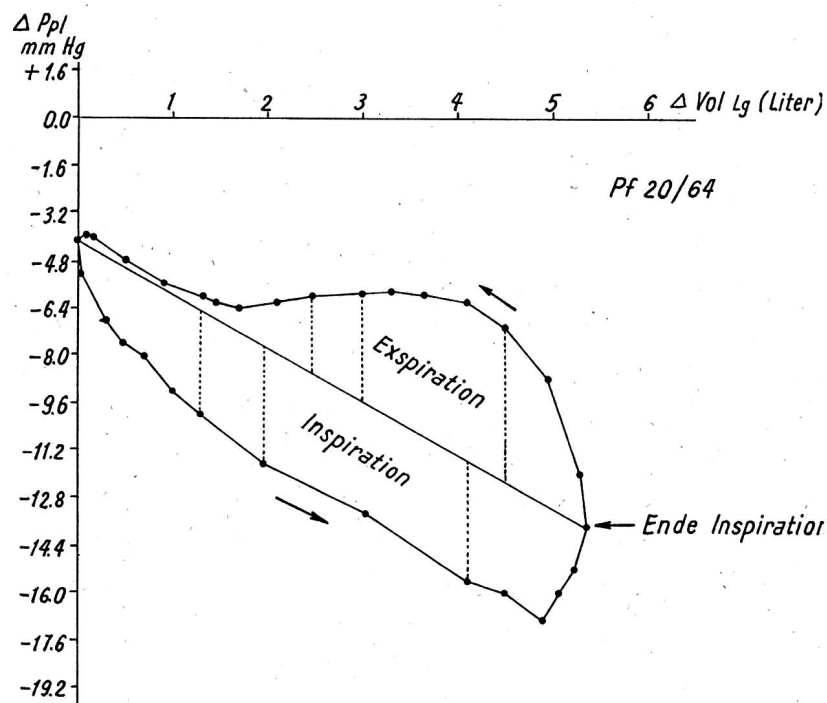


Abb. 5 Atmungsschleife (dynamisches Volumen-Druck-Diagramm) von dem in der Abbildung 4 dargestellten Fall.

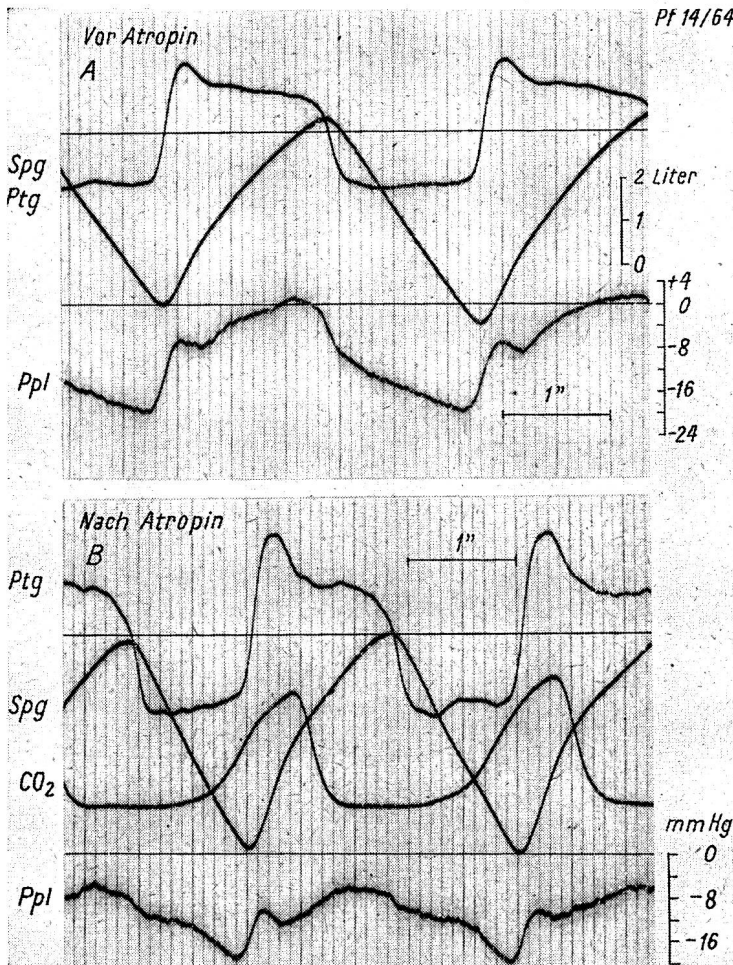


Abb. 6

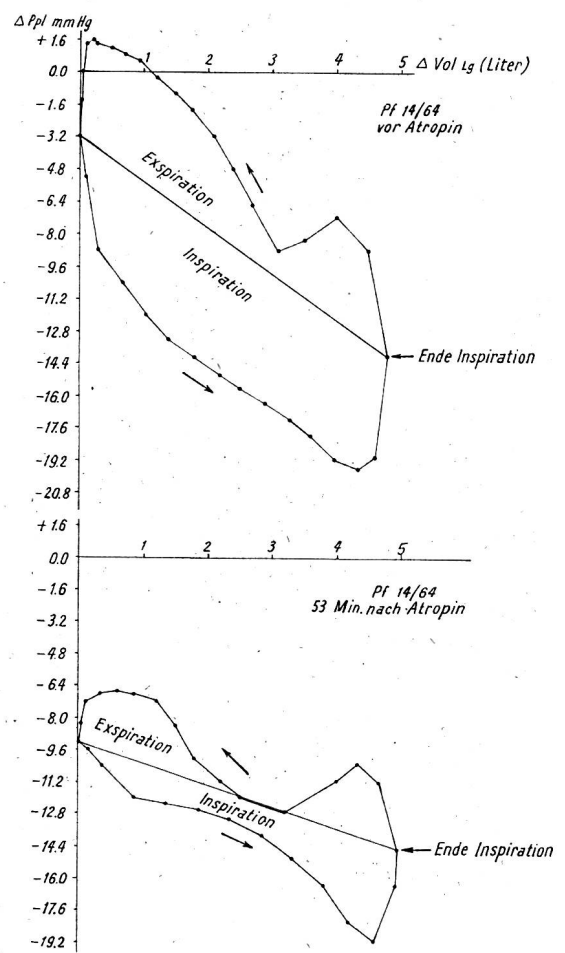


Abb. 7

Abb. 6 Pneumotachogramm (Ptg), Spirogramm (Spg) und Interpleuraldruck (Ppl) bei einem Pferd mit Lungenemphysem.

Der oberhalb der horizontalen Linie liegende Kurvenzug des Ptg bedeutet die Atemstromstärke während der Expiration, der unter der Horizontalen liegende Kurventeil zeigt die Atemstromstärke während der Inspiration an. Der absteigende Schenkel des Spg entspricht der Inspiration, der aufsteigende Schenkel der Expiration. Die dem Interpleuraldruck (Ppl) beigegebene Skala gibt den Unter- bzw. Überdruck an (Ppl = 0 entspricht dem Atmosphärendruck).

A: Vor Atropin; B: 53 Min. nach Atropin (10 mg Atropinsulfat i.v.). Vor der Atropinisierung steigt der Interpleuraldruck auf Werte an, die über dem Atmosphärendruck liegen (Ppl 0 bedeutet: Atmosphärendruck). Nach der Atropinapplikation herrscht im Interpleuralspalt während des gesamten Atemzuges Unterdruck.

Abb. 7 Atmungsschleifen zu dem in der Abbildung 6 dargestellten Fall. Vor der Atropinapplikation zeigt die Schleife gegen Ende der Expiration Überdruckwerte im Interpleuralspalt an. Nach der Atropinapplikation wird die Schleife schlanker, ein Zeichen für eine erhebliche Abnahme der Strömungswiderstände in den Atemwegen. Die Schleife verläuft während des ganzen Atemzuges im Unterdruckbereich. Die Schleifendiagonale verläuft nach der Atropinapplikation etwas weniger steil, was für eine Zunahme der Dehnbarkeit des Lungengewebes nach der Atropinisierung spricht.

Es liegt nicht in der Absicht dieser Arbeit, auf die Ergebnisse solcher Untersuchungen einzutreten. Hierüber wird später berichtet. Zum Schluß seien lediglich an Hand von Abbildungen einige Fälle herausgegriffen,

welche die unterschiedliche Atmungsmechanik bei einigen Lungenaffektionen dartun.

Die Abbildungen 4 und 5 stammen von einem Fall (Pferd Prot. Nr. 20/64), bei welchem auf Grund des klinischen Befundes und der atmungsmechanischen Untersuchung die Diagnose «Beginnendes Lungenemphysem» gestellt wurde. Aus dem Pneumotachogramm (Ptg) und Spirogramm (Spg) kann entnommen werden, daß die Ausatemungsphase stark verlängert ist. Sie ist fast genau doppelt so lang als die Einatemungsphase (Atemzeitquotient: 1,96). Auffällig ist die große Stromstärke zu Beginn der Ausatemungsphase, die in der Folge plötzlich stark absinkt. Dadurch erhält auch das Spg eine abnorme Konfiguration, indem der expiratorische (aufsteigender) Schenkel einen nach oben konvexen Verlauf erhält (vgl. hierzu das Spg der Abbildung 1). Der Interpleuraldruck ist während des ganzen Atmungszyklus kleiner als der Atmosphärendruck.

Die Abbildung 5 zeigt die Atmungsschleife des gleichen Falles. Da die Atemstromstärke während der Ausatmung infolge der Verlängerung der Expiration, abgesehen von der Initialphase, relativ gering ist, bleibt auch der visköse Widerstand (annäherungsweise mit dem Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen identisch) während der Expiration verhältnismäßig klein, was wohl als eine zweckmäßige Adaptation interpretiert werden darf.

Die Abbildungen 6 und 7 stammen von einem Pferd (Prot. 14/64) mit einem deutlichen, jedoch keineswegs hochgradigen Lungenemphysem. Auch hier zeigt das Ptg zu Beginn der Ausatemungsphase die größte Atemstromstärke. Der AZQ beträgt vor der Atropinapplikation 1,07 und nach Atropinisierung 1,08, er liegt also noch im Bereich der normalen Variationsbreite von 1,0–1,5. Daß die Atmungsmechanik bei diesem Patienten bereits erheblich gestört ist, zeigt das Verhalten des Interpleuraldruckes. Dieser überschreitet in der letzten Phase der Expiration den Atmosphärendruck, was mit Sicherheit pathologisch ist.

Die Abbildung 7 stellt die Atmungsschleifen dieses Falles vor und nach der Atropinisierung dar. Nach der Atropinapplikation ist der Strömungswiderstand der Atemluft (genauer ausgedrückt der visköse Widerstand) sowohl inspiratorisch als auch expiratorisch erheblich geringer, denn der Abstand der Atmungsschleife von der Schleifendiagonalen ist viel kleiner.

Die Abbildungen 8 und 9 stellen die atemmechanischen Verhältnisse bei einer Kuh mit chronischer Pneumonie dar. Es besteht eine Tachypnoe (Atemfrequenz: 59/Min.). Das Atemvolumen beträgt nur 2,3 Liter. Trotz dieses kleinen Atemvolumens nimmt der Unterdruck im Interpleuralspalt während der Inspiration stark zu, was vor allem auch in einer sehr starken Öffnung der Atmungsschleife (Abb. 9) zum Ausdruck kommt. Der visköse Widerstand bei der Lungenventilation ist speziell während der Inspirationsphase sehr groß. Der Atemzeitquotient beträgt 0,94. Die Inspirationsphase ist also relativ lang, was wohl auf die Erhöhung des Luftströmungswiderstandes (visköser Widerstand während der Einatemungsphase) zurückzuführen ist (vgl. Abb. 9).

So wie heute exakte zytologische und chemische Blutanalysen, elektrokardiographische und andere kardiovaskuläre Untersuchungen inklusive Herzkatherismus Eingang in die Veterinär-Medizin gefunden haben, so werden auch bald atmungsmechanische Untersuchungen zum unentbehrlichen Rüstzeug der veterinär-medizinischen Forschung und Klinik werden.

### Zusammenfassung

Auch bei Großtieren ist es heute dank der Entwicklung von vielkanaligen Registriergeräten, welche die gleichzeitige Aufzeichnung mehrerer physiologischer Vorgänge gestatten, sowie von Elektromanometern und elektronischen Integratoren möglich, die Lungenmechanik quantitativ zu erfassen. Diese basiert auf der simultanen Registrierung des Pneumotachogrammes, des Spirogrammes und des Interpleuraldruckes. Eine geeignete Methodik der Pneumotachographie, Spirographie und Aufzeichnung des



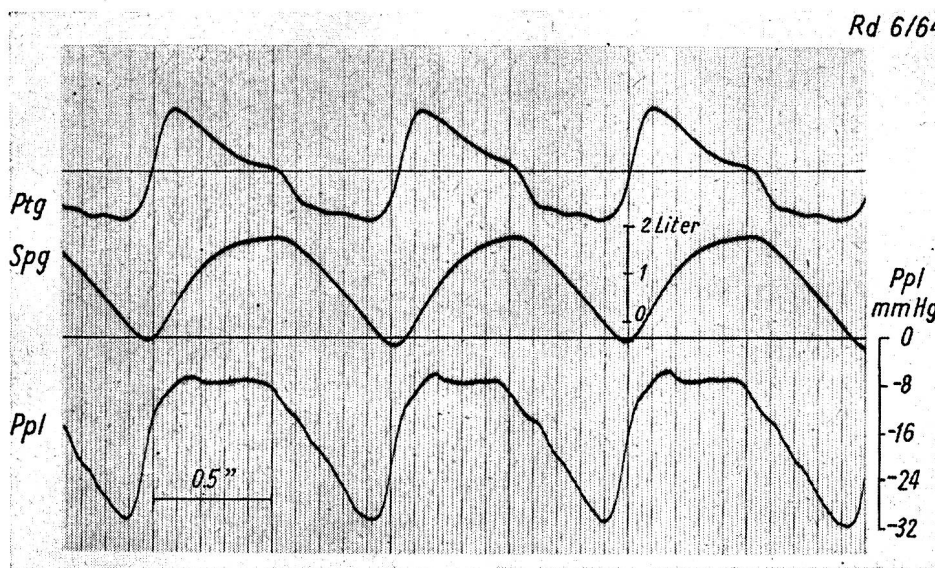


Abb. 8

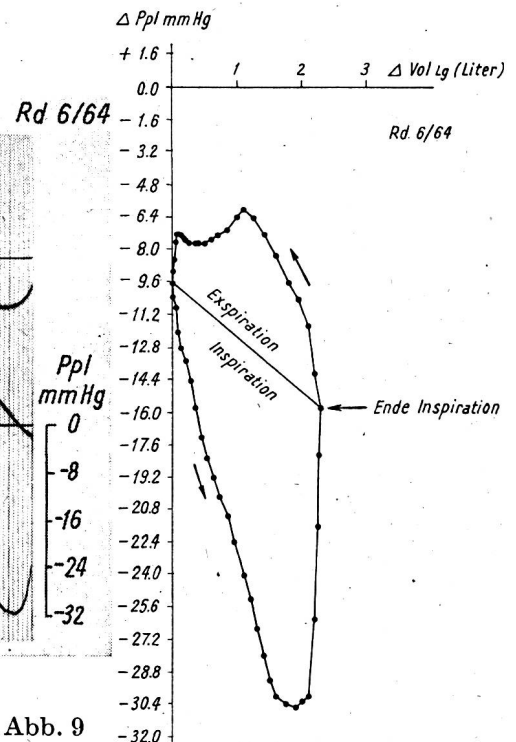


Abb. 9

Abb. 8 Pneumotachogramm (Ptg), Spirogramm (Spg) und Interpleuraldruck (Ppl) von einer Kuh (Prot. Nr. 6/64) mit chronischer Pneumonie. Der Atemzeitquotient ist mit einem Wert von 0,94 auffällig klein, das heißt, die Inspirationsphase dauert länger als die Expirationsphase, was wohl auf die Erhöhung des Luftströmungswiderstandes während der Einatmungsphase zurückzuführen ist.

Abb. 9 Atmungsschleife zu dem in der Abbildung 8 dargestellten Fall (Chronische Pneumonie bei einer Kuh). Die Schleife ist sehr weit, und zwar insbesondere während der Inspiration. Dies deutet auf einen großen Strömungswiderstand der Atemluft während der Einatmungsphase hin. Die Schleifendiagonale ist ziemlich steil, was für eine geringe Dehnbarkeit des Lungengewebes spricht.

Interpleuraldruckes bei Großtieren (Pferd, Rind) wird beschrieben. Außer den direkt aus den Kurven ablesbaren Daten (Atemstromstärke, Atemvolumen, Dauer der Ein- und Ausatmungsphase sowie des Interpleuraldruckes) lassen sich aus diesen noch weitere Parameter berechnen, nämlich die dynamische Elastance bzw. Compliance sowie der visköse Widerstand der Lungenventilation. Die Elastance bzw. Compliance geben Auskunft über die Elastizität des Lungengewebes, der visköse Widerstand hingegen ist vor allem ein Maß für den Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen. Die Bedeutung atmungsmechanischer Untersuchungen in der Krankheitsdiagnostik sowie für das Studium verschiedenster Agentien auf den Atmungsapparat (Medikamente, Narkotika, Toxine verschiedenster Art, Klimafaktoren usw.) wird kurz diskutiert.

### Résumé

A l'heure actuelle il est aussi possible chez les grands animaux d'étudier quantitativement le mécanisme pulmonaire grâce au développement des appareils enregistreurs, qui permettent l'étude simultanée de nombreux processus physiologiques, grâce aussi à des électro-manomètres et des intégrateurs électroniques. Ce mécanisme est basé sur l'enregistrement simultané du pneumotachogramme, du spiogramme et de la pression interpleurale. Description d'un système méthodique de la pneumotachigraphie, de la spiographie et de la pression interpleurale chez les grands animaux (cheval, bœuf).

Hormis les données directement perceptibles sur les courbes (puissance de la respiration, volume de la respiration, durée de la phase de l'inspiration et de l'expiration ainsi que de la pression interpleurale), on peut en calculer également les paramètres, par exemple la résistance visqueuse de la ventilation pulmonaire. L'élastance renseigne sur l'élasticité du tissu pulmonaire; la résistance visqueuse, en revanche, constitue une mesure de la résistance du courant de l'air dans les voies respiratoires. La signification du mécanisme respiratoire dans le diagnostic de la maladie ainsi que pour l'étude de différents agents à l'égard de l'appareil respiratoire (médicaments, narcotiques, toxines de tous genres, facteurs climatiques, etc.) fait l'objet d'une courte discussion.

### Riassunto

Al presente è possibile anche nei grossi animali di studiare quantitativamente il meccanismo polmonare, grazie allo sviluppo degli apparecchi registratori che permettono le indagini simultanee di parecchi fenomeni fisiologici, elettromanometri e integratori elettronici. Questo meccanismo si fonda sulla registrazione simultanea del pneumotacogramma, dello spirogramma e della pressione intrapleurale. Si descrive un sistema metodico adatto della pneumotacografia, della spirografia e della pressione intrapleurale nei grossi animali (cavallo, bovino). Oltre ai dati direttamente percettibili delle curve (potenza e volume della respirazione, durata delle fasi d'inspirazione e di espirazione), da esse si può calcolare anche i parametri, per esempio la resistenza viscosa della ventilazione polmonare. L'elastanza, rispettivamente la compliance forniscono degli insegnamenti sull'elasticità del tessuto polmonare; invece la resistenza viscosa costituisce una misura della resistenza della corrente dell'aria nelle vie respiratorie. Il significato del meccanismo respiratorio nella diagnostica della malattia e lo studio dei diversi agenti in relazione con l'apparato respiratorio (medicamenti, narcotici, tossine di parecchi generi, fattori climatici, ecc.) sono oggetto di una breve discussione.

### Summary

Thanks to the development of multichannel recording machines, which allow simultaneous recording of several physiological processes, and thanks to electromanometers and electronic integrators, it is now possible to make a quantitative record of the lung mechanism of even large animals. This is based on the simultaneous recordings of the pneumotachygram, the spirogram and the interpleural pressure. A suitable method of pneumotachygraphy, spirometry and recording interpleural pressure of large animals (horse, cow) is described. Apart from the information obtained directly, from the graphs (respiratory intensity, respiratory volume, length of inhalation and exhalation phases, interpleural pressure) other parameters may be calculated from these, viz., the dynamic elastance or compliance and the viscous resistance of the lung ventilation. The elastance or compliance gives information on the elasticity of the lung tissue, while the viscous resistance is primarily a measure of the air current resistance in the respiratory tubes. The importance of respiration-mechanical examinations, for the diagnosis of disease as well as for studying the effect of various agents on the respiratory system (medicaments, anaesthetics, toxins of all kinds, climatic factors, etc.), are briefly discussed.

### Literatur

- [1] Ammann K.: Das Lungenemphysem des Pferdes und Rindes. Arch. f. wiss. und prakt. Tierheilk. 74, 348-401 (1939). — [2] Buhr G. und H. Osten: Eine neue Apparatur zur funktionellen Diagnostik des cardiopulmonalen Systems auf der Grundlage der Integration des Pneumotachogrammes mit synchroner Registrierung von 11 Meßgrößen. Z. Kreislauff. 52, 64-76 (1963). — [3] Fleisch A.: Der Pneumotachograph, ein Apparat zur Geschwindigkeits-



registrierung der Atemluft. Pflügers Arch. ges. Physiol. 209, 713 (1925). – [4] Fleisch A.: Le Pneumotachographie. Helv. Physiol. Acta 4, 363–368 (1956). – [5] Hug A.: Über chronische Atembeschwerden des Pferdes. Diss. Zürich 1937. – [6] Noelpp B. und J. Noelpp-Eschenhagen: Das experimentelle Asthma bronchiale des Meerschweinchens (I. Mitt. Methoden zur objektiven Erfassung [Registrierung des Asthmaanfalles]). Int. Archives of Allergy and Applied Immunology 2, 308–320 (1951). – [7] Noelpp B. und J. Noelpp-Eschenhagen: New Contributions to Experimental Asthma. Progress in Allergy 4, 361–456 (1954). – [8] Obel N.J. and C.G. Schmiterlöw: The action of histamine and other drugs on the bronchial tone in horses suffering from alveolar emphysema (heaves). Acta pharmacologica et toxicologica 4, 71–80 (1948). – [9] Rossier P.H., A. Bühlmann und K. Wiesinger: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. 1. Aufl., Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1956. – [10] Scherrer M., U. Bucher und A. Kostyal: Zur Technik atemmechanischer Untersuchungen. Bericht über das Symposium der Schweizer Medizin. Biolog. Ges. in Neuenburg über Probleme der künstl. Beatmung. Benno Schwabe, Basel, 1958.

## Hypervitaminose D chez le porc

Par H. Burgisser<sup>1</sup>, Cl. Jacquier et M. Leuenberger<sup>2</sup>

L'utilisation de vitamines à des doses souvent exagérées, notamment des vitamines A et D, peut, en dépit de ce qu'affirment encore certains traités (Manninger et Mocsy), comme l'a fait déjà remarquer Suter, provoquer des accidents parfois mortels. L'hypervitaminose D est connue chez l'homme, le chien, le chat, les bovidés jeunes et adultes, le vison, le renard d'élevage. Nous l'avons trouvée plus d'une fois chez le chinchilla où cette vitamine est utilisée pour améliorer le lustre de la fourrure.

Chez le porc, Dämmrich relate l'expérimentation qu'il fit avec la vitamine D<sub>3</sub>. A une époque où l'élevage intensif du porc est en pleine évolution, où l'éleveur est tenté d'accélérer la croissance de ses sujets par un forçage biologique, il ne paraît peut-être pas inutile de rappeler la prudence en matière d'alimentation ou de thérapeutique.

L'hypervitaminose D, dont les lésions sont très connues, se caractérise par un précipité calcique surtout au niveau des organes à réaction acide (poumons, estomac, reins) chez certains animaux, ou chez d'autres au niveau des vaisseaux sanguins.

L'intoxication par la vitamine D dépend de nombreux facteurs (Collet; Joest; Dämmrich):

1. de la nature de la vitamine utilisée. La D<sub>3</sub> (Dehydrocholestérol) est plus active chez certains sujets que la D<sub>2</sub> (Ergostérol). Chez l'homme et chez

<sup>1</sup> Institut Galli-Valerio, Lausanne.

<sup>2</sup> Office vétérinaire cantonal, Genève.