IV. Aus der medizinischen Klinik der thierärztlichen Hochschule in Budapest.

Ueber die Entstehungsweise der Athemgeräusche.¹⁾

Von Prof. Dr. J. Marek, Vorstand der Klinik.

1. Vesikuläres Athemgeräusch.

Die Luftströmung allein ruft in den Luftwegen, die man als Röhren betrachten kann, in Folge der relativ geringen Geschwindigkeit kein Geräusch hervor. Bei einer geringen Stromgeschwindigkeit kommt es in Röhren nur dann zur Schallbildung, wenn in denselben plötzliche Kaliberänderungen vorhanden sind. Da die Bronchien, deren Lumen sich ganz allmählich verengt, sich wie gleichweite Röhren verhalten, so sind unter normalen Verhältnissen nur drei Stellen der Athemwege zur Schallbildung geeignet, nämlich die Choanen, die Stimmritze und die Infundibula, als diejenigen Stellen, an welchen die Luftwege plötzliche Kaliberänderungen erfahren.

¹⁾ In extenso wird diese Arbeit im Archiv für wissenschaftliche und praktische Thierheilkunde publiziert.

Man kann wohl mit Recht annehmen, dass das an den erwähnten Stellen der Luftwege gebildete Geräusch ein klangloses Blasegeräusch ist, ähnlich demjenigen, welches man durch Ausstossen von Luft durch die Mundspalte hervorbringt.

Das Blasegeräusch wird, wie meine bezüglichen Experimente gezeigt haben, in geeigneten Röhren verändert. In Röhren mit vollkommen weicher Wand und mit unebener Innenfläche (wie z. B. ein leeres Darmstück) erfährt das durch Hineinblasen in dieselbe hervorgebrachte Blasegeräusch keine Veränderung. Wenn aber mehr oder weniger glattwandige Röhren angeblasen werden, wird der Charakter des Blasegeräusches, in Folge der in solchen Röhren stattfindenden Resonanz, verändert. Die Veränderung offenbart sich darin, dass das Blasegeräusch, bei schwachem Hineinblasen in entsprechend (über 50 cm) lange, weichwandige (aus dünnem Papier gefertigte) Röhren, weicher, tiefer, dabei aber auch dumpf wird; in gleichlangen Gummiröhren und noch mehr in Glasröhren wird das Blasegeräusch auch weicher und tiefer, dasselbe lässt aber auch musikalische Klangfarbe erkennen. Bei Verstärkung des Blasegeräusches steigt die Höhe des Schalles der Röhren um so leichter, je widerstandsfähiger ihre Wand und je enger ihr Kaliber ist. Die Klangfarbe nimmt nach Verstärkung des Blasegeräusches auch an Intensität zu. Von dem Kehlkopf und von den Bronchien abgetrennte Luft-röhren von Thierkadavern verhalten sich dem Blasegeräusch gegenüber wie dünnwandige Gummiröhren. Die Ursache dessen, dass der aus Resonanz hervorgegangene Ton in den weichwandigen Röhren dumpf, in den festwandigen Röhren hingegen klanghaltig ist, liegt darin, dass in den Röhren mit mehr oder weniger nachgiebigen Wänden neben dem Grundton entweder keine oder nur wenige und sehr schwache, in Röhren mit widerstandsfähiger Wand hingegen mehrere und stärkere harmonische Obertöne entstehen, die dann dem Tone musikalische Klangfarbe verleihen. Bei Verstärkung des Blasegeräusches werden die harmonischen Obertöne auch stärker, dem zu Folge nimmt auch die Klangfarbe an Intensität zu.

In solchen Röhrensystemen, wo aus einer Stammröhre sekundäre, tertiäre u. s. w. Seitenröhren entspringen, resoniren die einzelnen Röhren beim Anblasen der Oeffnung der Stammröhre nicht jede für sich, sondern es stellt jede einzelne Seitenröhre mit den ihr vorangehenden und mit der Hauptröhre eine gemeinsame Röhre dar, es entsteht in Folge dessen in jeder dieser gemeinsamen Röhren ein Ton von derjenigen Höhe, welche der Entfernung zwischen der Oeffnung der Hauptröhre und dem Ende der betreffenden Seitenröhre entspricht. Zu dieser Ueberzeugung bin ich auf Grund meiner Experimente gekommen, welche ich an aus Glas- und Gummiröhren gefertigten Röhrensystemen und an den aus der Lunge auspräparirten und mit der Trachea zusammenhängenden Bronchien angestellt habe.

Das durch das Durchblasen durch eine weichwandige, inwendig uneben gemachte Gummiröhre erzeugte Geräusch, als ich dasselbe durch auf die freie Oeffnung der Röhre gelegte Rinderlungen auskultirte, war stets tiefer, weicher und auch stärker, als wenn ich unmittelbar vor der Oeffnung der Röhre auskultirte. Eine Veränderung des Geräusches konnte aber nicht wahrgenommen werden, als ich das Blasegeräusch durch eine Rinds-lunge auskultirte, deren Bronchien bis zu den kleinen Verzweigungen mit einer Gipsmasse ausgefüllt wurden, so dass nur die kleinsten Bronchien und die Alveolen Luft enthielten. Der durch eine 3 cm weite Glasröhre geleitete Ton einer mit Resonanzboden versehenen Stimmgabel mit einer Schwingungszahl von 256 war durch auf die freie Oeffnung der Glasröhre gelegte Rinderlungen ebenso stark zu hören wie unmittelbar vor der Oeffnung der Glasröhre. Als ich aber die Lunge durch Andrücken derselben mit dem Kopf gegen die Röhre allmählich comprimirte, wurde der Ton allmählich schwächer, bis derselbe endlich gänzlich verschwunden ist. Als diese Versuche mit lufthaltigen Lungen und mit ebenso dicken Leberstücken ausgeführt wurden, war der Ton der Stimmgabel wie auch das Blasegeräusch durch die Leber bedeutend schwächer zu hören; das Blasegeräusch wurde durch die Leber gar nicht verändert.

Das Trachelgeräusch lebender Hunde und Rinder wurde bei der Auskultation durch collabirte wie auch durch maximal aufgeblasene Lunge bedeutend tiefer und etwas schwächer; neben dem tiefen weichen Schall konnten aber auch durch 12–15 cm dicke Lungenschichten die höheren, den Klangcharakter des Luft-röhrengeräusches bedingenden Töne wahrgenommen werden. Als ich das Trachelgeräusch derselben Thiere durch Rinds-lunge

auskultirte, deren Bronchien mit einer Gipsmasse ausgefüllt wurden, konnte, ausser der Abschwächung, keine Veränderung des Luftröhrengeräusches constatirt werden. Durch die auf die Luftröhre gelegte Leber war das Trachelgeräusch bedeutend schwächer zu hören als durch gleich dicke lufthaltige Lunge; durch die Leber wurde das Trachelgeräusch auch nicht verändert.

Bei schwachem Hineinblasen mittels eines Blasebalges in die auspräparirte Luftröhre von frischen Hunde-, Rinder- und Pferdekadavern, so dass die eingeblasene Luft zwischen dem Zapfen des Blasebalges und der Wand der Luftröhre frei entweichen konnte und dem zu Folge die Erweiterung der Lunge nicht zu Stande kam, war über der Luftröhre ein tiefer und dumpfer, über der im Brustkorbe ausgespannten Lunge nur bei Hundekadavern ein noch tieferer Schall zu hören, und zwar nur über den vorderen Parteen des Brustkorbes. Bei mittelstarkem Blasen wurde auch an Pferde- und an Rinderkadavern ein tiefer und dumpfer Schall über den vordersten Parteen des Thorax wahrnehmbar. Nach einer bedeutenden Verstärkung des Blasegeräusches wurde der Schall der Luftröhre bedeutend höher, stärker und klanghaltiger, über dem Brustkorbe trat bei Hundekadavern überall, bei Pferde- und Rinderkadavern nur über den vordersten Thoraxparteen ein von dem Luftröhrenschall noch höherer und ausgesprochen klanghaltiger Schall zum Vorschein. Dasselbe Resultat war zu erhalten, als ich in die Luftröhre lebender Pferde durch einen vorher eingeführten Luftröhrentubus während der Athempause, in einem Falle nach Curarisirung des Thieres, mittels eines Blasebalges einblasen liess.

Der Ton der schon erwähnten, in einem benachbarten, von dem Untersuchungslokal durch eine Thür getrennten Raum angeschlagenen Stimmgabel, war, als derselbe durch eine 12 m lange, entsprechend dicke, mit einem Ende in die auspräparirte Luftröhre eingebundene Gummiröhre in die Luftwege geleitet wurde, nach mittelstarkem Anschlagen der Stimmgabel über der Luftröhre beiläufig so stark zu hören wie das normale Luftröhrengeräusch; an Hundekadavern war der Ton über dem ganzen Brustkorbe, an Pferdekadavern bloss über den vorderen Parteen desselben zu hören. Der Ton nahm gegen die hintere Grenze der Lunge an Intensität allmählich ab, blieb aber in seinem Charakter und in seiner Höhe stets vollkommen unverändert. Bei lebenden, athmenden Pferden ergab dieses Experiment ganz dasselbe Resultat; während der Inspiration war der Ton nicht weiter zu hören als während der Expiration.

Meine Experimente haben ausser Zweifel gestellt, dass die Lunge, ob in ausgespanntem oder in collabirtem Zustande, den reinen Ton zu modifiziren nicht im Stande ist. Dem Geräusche gegenüber verhält sich aber die Lunge anders; die durch die Lunge geleiteten Geräusche werden tiefer, weicher. Die Fähigkeit der Lunge, das Geräusch zu modifiziren, verschwindet, sobald die Bronchien mit einer soliden Masse ausgefüllt sind. Sodann haben meine Experimente ergeben, dass die lufthaltige Lunge mit durchgängigen Bronchien, mag sie in collabirtem oder in ausgedehntem Zustande sein, obwohl die Töne wie auch die Geräusche besser fortgeleitet als ein ganz solider Körper, wie es z. B. die Leber ist; wenn aber die ganz kleinen Bronchien zusammengedrückt werden, wird die Lunge zu einem noch schlechteren Schallleiter, als es die Leber ist.

Da die Lunge nicht im Stande ist, den Ton zu modifiziren, und auch das Geräusch nicht, wenn ihre Bronchien mit einer soliden Masse ausgefüllt worden sind, so ist leicht zu sehen, dass die Veränderung des Geräusches in der Lunge nur die Folge der in den Bronchien, als Röhren, stattfindenden Resonanz sein kann. Die Luftwege können als kegelförmige, an einem Ende (der Spitze entsprechend) geschlossene Labialpfeifen angesehen werden, deren Wand im allgemeinen, gegen den Kehlkopf weniger, gegen das Ende der Bronchien mehr, nachgiebig ist. Wie die mit Röhrensystemen angestellten Experimente gezeigt haben, stellt jeder der terminalen Bronchien mit den ihm vorangehenden Bronchien und mit der Luftröhre zusammen je eine solche kegelförmige Pfeife dar, sodass die Basis jeder dieser Pfeifen durch die Luftröhre gebildet wird. Das Anblasen der Pfeifen findet in der Stimmritze statt durch den während der In- und Expiration entstehenden Luftstrom, welcher in der Stimmritze ein Blasegeräusch hervorruft. Unter den vielen in dem Blasegeräusch vorhandenen einfachen Tönen resoniren diese an einem Ende geschlossenen Röhren auf die ihnen ent-

sprechenden, also auf diejenigen Töne, deren Tonwelle das Vierfache der Röhrenlänge ausmacht. Die Luftwege sind aber im Stande, nicht nur auf den ihrer von der Stimmritze bis zur Spitze der Bronchien berechneten Länge entsprechenden Grundton, sondern, wie die gedeckten Pfeifen, auch auf die ungeradzahlgigen Partialtöne zu resoniren, falls dieselben in dem Geräusche vorhanden sind. Weil aber die Wand der Luftwege, besonders in dem distalen Theile derselben, ziemlich nachgiebig ist, werden die schon von Haus aus schwächeren Obertöne in Folge innerer Reibung und in Folge des Uebertretens auf die Wand der Röhren mehr oder weniger abgeschwächt oder bei sehr schwachem Anblasen (wie z. B. bei langsamen oder bei oberflächlichen Athembewegungen) auch vernichtet. Wenn die Obertöne fehlen oder sehr schwach sind, ist der aus der Resonanz hervorgegangene Ton klanglos, hingegen um so mehr klanghaltig, je mehr und je stärkere harmonische Obertöne den Grundton begleiten. In Folge der beträchtlichen Entfernung zwischen der Stimmritze und den Spitzen der einzelnen Bronchien ist der durch die Resonanz verstärkte Ton sehr tief und, wenn schwache oder gar keine Obertöne vorhanden sind, dumpf. Der in den Luftwegen aus der Resonanz hervorgegangene Ton kann nicht so rein sein wie der Ton der gedeckten Pfeifen, einfach aus dem Grunde, weil die in den einzelnen verschieden langen Röhren entstandenen Töne gegen die Luftröhre in allmählich zunehmender Zahl zusammen treten und demzufolge die hinsichtlich der Schwingungszahl einander naheliegenden Töne eine Dissonanz hervorrufen. Da die einzelnen Röhren um so mehr Töne enthalten, je mehr Röhrenäste in dieselben einmünden, so ist leicht zu begreifen, warum der aus der Resonanz hervorgegangene Schall über der Luftröhre am stärksten zu hören ist.

Der in den Luftwegen aus der Resonanz hervorgegangene Schall wird beiläufig so weit von dem Blasegeräusch des Kehlkopfes begleitet, wie der in die Luftröhre geleitete Ton einer mittelstark angeschlagenen Stimmgabel.

Obwohl die Resonanz in allen Bronchien stattfinden muss, wird der durch dieselbe hervorgerufene Schall bei Pferden und Rindern doch nicht über der ganzen Lunge gehört, falls das Blasegeräusch des Kehlkopfes nicht verstärkt ist. Die Ursache davon liegt darin, dass in den kleinen Bronchien der Schall zu schwach ist, um in unser Gehörorgan gelangen zu können, und zwar aus dem Grunde, weil die Luftsäule der kleinen Bronchien zu dünn, die Wand derselben zu weich ist und weil die kleinen Bronchien nur wenige Seitenzweige aufnehmen, deren Töne zur Verstärkung ihres Schalles beitragen würden. Wir sind demzufolge unter normalen Verhältnissen im Stande, nur den Schall der grösseren Bronchien zu hören, falls diese oberflächlich liegen. Bei Thieren von grossem Körperbau liegen grössere Bronchien nur in den vorderen Lungentheilen, nahe der Lungenoberfläche.

Da bei den grossen Hausthieren der aus der Resonanz hervorgegangene Schall nicht über der ganzen Lunge gehört wird, wie dies durch meine Experimente bewiesen wurde, das vesikuläre Athemgeräusch hingegen über der ganzen Ausdehnung der Lunge zu beobachten ist, kann schon aus diesem Grunde nicht eine gemeinsame Entstehungsweise der beiden angenommen werden. Ein schlagender Beweis dafür, dass das vesikuläre Athemgeräusch kein modifizirtes Kehlkopfgeräusch ist, war dadurch zu erbringen, dass vesikuläres Athemgeräusch auch dann zu hören ist, wenn über der Luftröhre nach dem Abtrennen des Kehlkopfes während des Einathmens gar kein Geräusch wahrgenommen werden konnte. Während des Aufblasens frischer Thierlungen ist über der sich erweiternden Lunge ein sehr starkes, mit dem vesikulären Athemgeräusch übereinstimmendes Geräusch, während des Zusammenfallens der Lunge hingegen nur ein schwacher, dumpfer Schall zu vernehmen, obwohl der Schall über der Luftröhre während des Aufblasens der Lunge viel schwächer ist als während des Zusammenfallens der Lunge. Wurden einzelne Theile der Lunge verhindert, sich zu erweitern, so war über den letzteren während des Aufblasens der übrigen Theile ein viel schwächerer Schall zu hören als während des Zusammenfallens der anderen vorher erweiterten Lungenparteen. Das vesikuläre Athemgeräusch kam beim Beginn des Aufblasens gleich zum Vorschein, obwohl das Lungengewebe noch ganz erschlaft war.

An ganz frischen Hundekadavern gelang es mir, vesikuläres Athemgeräusch in der Weise hervorzurufen, dass nach Eröffnung der Bauchhöhle die Leber von einem Gehilfen periodisch nach rückwärts gezogen und dann losgelassen und dadurch eine perio-

disch stattfindende Abflachung des Zwerchfells bewirkt wurde. Bei jedem Zurückziehen der Leber konnte über der Luftröhre ein normal starker Schall, über dem Brustkorbe ein scharfes vesikuläres Athemgeräusch wahrgenommen werden. Nach der Abtrennung des Kehlkopfes von der Luftröhre ist, bei nicht zu rasch erfolgtem Zurückziehen der Leber, der Trachealschall verschwunden, über dem Brustkorbe war aber auch jetzt ein allerdings schwächeres und weicherer vesikuläres Geräusch zu vernehmen.

Nach der Abtrennung der Luftröhre vom Kehlkopf mehrerer lebender Hunde und zweier lebender Pferde, ohne dass dabei der Nervus vagus beschädigt wurde, war über dem Brustkorbe überall vesikuläres Athemgeräusch zu hören, welches bei Hunden schwächer und weicher, bei Pferden hingegen noch etwas schärfer war als unter normalen Verhältnissen. Als ich die Oeffnung der Luftröhre verengern liess, trat eine bedeutende Verstärkung des vorher schwachen, resp. fehlenden Luftröhrengeräusches, demgegenüber eine bedeutende Abschwächung, ja sogar Verschwinden des vesikulären Athemgeräusches ein.

Da das vesikuläre Athemgeräusch kein fortgeleitetes Kehlkopf-, resp. Luftröhrengeräusch sein kann und unter normalen Verhältnissen die Strömung der Luft in den Bronchien, die sich als gleich weite Röhren verhalten, kein Geräusch erzeugt, kann das vesikuläre Athemgeräusch nur in dem respiratorischen Theile der Lunge entstehen, und zwar an der Einmündungsstelle der terminalen Bronchien in die Infundibula, welche Stelle zur Bildung eines Stenosengeräusches geeignet ist. Die langsame Strömung der Luft durch die Oeffnung ist die Ursache, dass die Verdichtungen und Verdünnungen der Luft nur langsam auf einander folgen, demzufolge auch das dadurch gebildete Geräusch tief ist. Das in je einer Einmündungsstelle entstandene Geräusch ist in Folge der Kleinheit der Luftsäule vielleicht so schwach, dass wir es, falls dasselbe nur an einem einzigen Orte zu Stande käme, kaum im Stande wären durch die Brustwand zu vernehmen. Weil aber das Geräusch in sehr vielen der Lungenoberfläche nahe gelegenen Infundibulis entsteht, so erreicht dasselbe eine genügende Intensität, um sich durch die Thoraxwand bis zu unserem Ohr fortpflanzen zu können. Dieses Geräusch kann, da dasselbe in dem die Alveolen (Lungen-vesikeln) enthaltenden Theile der Lunge entsteht, als „vesikuläres Athemgeräusch“ bezeichnet werden.

Gegen die Annahme, dass das vesikuläre Athemgeräusch ein an der Einmündungsstelle der terminalen Bronchien entstandenes Stenosengeräusch ist, sprechen die mit sehr engen Röhren angestellten Versuche von Baas und die Ansicht von Gerhardt, dass dieses Geräusch in Folge der Kleinheit der Luftsäule der Infundibula so hoch wäre, dass dasselbe vom menschlichen Ohr nicht perzipirt werden könnte. Die Richtigkeit der Annahme von Gerhardt kann nur in Bezug auf den durch die Resonanz entstandenen Schall anerkannt werden; es kann aber auch in anderer Weise ein Schall entstehen, der dann auch in sehr kleinen Hohlräumen tief ausfallen wird, wenn die Verdichtungen und Verdünnungen der Luft langsam auf einander folgen. Dass übrigens in den Infundibulis, trotz des minimalen Volumens derselben, ein wahrnehmbares Geräusch zu Stande kommen kann, wird am besten dadurch bewiesen, dass beim Einschneiden der lufthaltigen Lunge Knistern zu hören ist, welches dadurch entsteht, dass die in den Infundibulis comprimirt Luft nach dem Durchschneiden der Wand der Infundibula plötzlich herausströmt. Dass das vesikuläre Athemgeräusch nicht durch Schwingungen des Lungengewebes hervorgerufen wird, wie dies Gerhardt annimmt, geht daraus hervor, dass über der aus dem Brustkorbe herausgenommenen collabirten Lunge das vesikuläre Athemgeräusch gleich beim Beginn des Aufblasens der Lunge zu hören ist, wo das Lungengewebe noch entspannt ist. Dasselbe beweisen die von Dehio angestellten Experimente und auch die Beobachtung von Sahli bei einem Menschen mit Lungenhernie.

Die Angaben von Baas habe ich im Laufe meiner Experimente nicht bestätigt gefunden. Bei Durchblasen durch ca. $\frac{1}{2}$ mm weite und mindestens 12 cm lange Grashalme konnte ich kein Geräusch über der freien Oeffnung derselben vernehmen, während beim Durchblasen eines $13\frac{1}{2}$ cm langen und 1 cm dicken, wie auch eines anderen 9 cm langen und $\frac{1}{2}$ cm dicken Rohrstückes, welches bekanntlich aus zahlreichen engen Röhrchen besteht, über dem freien Ende des Rohrstückes ein ziemlich tiefes und weiches Geräusch wahrzunehmen war.

Zu dem vesikulären Athemgeräusch gesellt sich bei jeder

Thiergattung auch der aus der Resonanz hervorgegangene und von dem Kehlkopfgeräusch begleitete Schall, und zwar bei den kleinen Hausthieren in der ganzen Ausdehnung der Lunge, bei den grossen Thieren, im besonderen bei den Pferden, werden die beiden Geräusche zusammen nur über den vorderen Theilen des Brustkorbes gehört.

Das Ausathmungsgeräusch der Lunge ist bloss der aus der Resonanz hervorgegangene und vom Kehlkopfgeräusch begleitete Schall. Es ist nicht daran zu denken, dass die Strömung der Luft bei der Expiration aus den kleineren Bronchien in die grösseren ein über dem Brustkorbe wahrnehmbares Geräusch verursache, denn es verschwand das Ausathmungsgeräusch oft bei Pferden, deren Luftröhre vom Kehlkopfe abgetrennt wurde, obwohl das Zusammenfallen der Lunge in diesem Falle noch rascher stattfinden und dem zu Folge auch die Strömung der Luft rascher vor sich gehen konnte, als unter normalen Verhältnissen.

(Schluss folgt.)