

# Thermoregulation als Faktor bei der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegs syndroms des Hundes

D. A. Koch<sup>1</sup>, A. C. Piroth<sup>2</sup>, S. Michel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Daniel Koch Kleintierchirurgie AG, Diessenhofen, Schweiz; <sup>2</sup>Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Deutschland; <sup>3</sup>Empa, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, Schweiz

<https://doi.org/10.17236/sat00464>

Eingereicht: 17.03.2025  
Angenommen: 25.08.2025

## Zusammenfassung

Die Veränderung der Körpertemperatur von 21 brachycephalen und 15 normocephalen Hunden wurde während eines 10 Minuten dauernden standardisierten Laufes auf einem Laufband und in der anschliessenden 10 Minuten dauernden Erholungsphase mittels Rektaltemperatursonde erfasst.

Während sich die basale Körpertemperatur der beiden Gruppen nicht unterschied, war die Erhöhung zu allen repräsentativen Zeitpunkten signifikant unterschiedlich (5 Min:  $0,39 \pm 0,17^\circ\text{C}$  vs  $0,21 \pm 0,12^\circ\text{C}$ ; 10 Min:  $0,59 \pm 0,20^\circ\text{C}$  vs  $0,25 \pm 0,13^\circ\text{C}$ ; 15 Min:  $0,52 \pm 0,20^\circ\text{C}$  vs  $0,21 \pm 0,14^\circ\text{C}$ ; 20 Min:  $0,44 \pm 0,24^\circ\text{C}$  vs  $0,15 \pm 0,15^\circ\text{C}$ ) und korrelierte sowohl auf die phänotypische Kopfform als auch auf radiologisch gemessene Schädelindices. Während sich die Temperatur in der Laufbandphase bei brachycephalen Hunden signifikant schneller erhöhte als bei normocephalen Hunden, kühlten sich die Hunde beider Gruppen in der Erholungsphase mit gleicher Rate ab.

Wir interpretieren den Unterschied der Temperaturveränderung als ungenügende Reaktion der brachycephalen Hunde auf körperliche Belastung und postulieren eine alternative Ablaufkette in der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegs syndroms (BOAS): Durch die Verkürzung des Nasenschädels werden die thermoregulativ bestimmenden Oberflächen der Nasenmuscheln reduziert. Körperliche Anstrengung und erhöhte Aussentemperaturen führen dann zu einer starken Körpertemperaturerhöhung, welche durch verstärkte Atem- und Hechelarbeit kompensiert wird. Diese wiederum führt in den oberen Atemwegen zu einem verstärkten Unterdruck, wodurch die dort liegenden Weichteile wie Naseneingangsknorpel, Gaumensegel und Kehlkopftaschen in die oberen Atemwege eingesaugt werden und die typische BOAS-Symptomatik auslösen.

**Schlüsselwörter:** Hund, Brachycephalie, Temperatur, Laufband, Erholung

## Thermoregulation as a factor in the pathophysiology of the brachycephalic upper airway syndrome in dogs

The change in body temperature of 21 brachycephalic and 15 normocephalic dogs was recorded using a rectal temperature probe during a standardised 10-minute run on a treadmill and in the subsequent 10-minute recovery phase.

While the basal body temperature of the two groups did not differ, the body temperature increase at all representative time points was significantly different (5 min:  $0,39 \pm 0,17^\circ\text{C}$  vs  $0,21 \pm 0,12^\circ\text{C}$ ; 10 min:  $0,59 \pm 0,20^\circ\text{C}$  vs  $0,25 \pm 0,13^\circ\text{C}$ ; 15 min:  $0,52 \pm 0,20^\circ\text{C}$  vs  $0,21 \pm 0,14^\circ\text{C}$ ; 20 min:  $0,44 \pm 0,24^\circ\text{C}$  vs  $0,15 \pm 0,15^\circ\text{C}$ ) and correlated with both the phenotypic head shape and radiologically measured skull indices. While the body temperature increased significantly faster in brachycephalic dogs than in normocephalic dogs during the treadmill phase, the dogs in both groups cooled down at the same rate during the recovery phase.

We interpret the difference in temperature change as an insufficient response by brachycephalic dogs to physical exertion and postulate an alternative pathway in the pathophysiology of the brachycephalic upper airway syndrome (BOAS): the shortening of the nasal skull reduces the thermoregulatory surfaces of the nasal conchae. Physical exertion and high environmental temperatures lead to a sharp rise in body temperature, which is compensated for by increased breathing and panting. This leads to increased negative pressure in the upper airways, causing the soft tissues, such as the nasal entrance cartilage, soft palate and laryngeal pockets, to be sucked into the upper airways and triggering the typical BOAS symptoms.

**Keywords:** dog, brachycephaly, temperature, treadmill, recovery

## Einleitung

Die Kopfform brachycephaler Hunde ist das Ergebnis eines als erblich nachgewiesenen Defekts in der knöchernen Entwicklung der Kopfbasis.<sup>31</sup> Dadurch wächst der Schädel vornehmlich in die Breite, währenddem das Längenwachstum eingestellt wird. Die gezielte Zucht und die Nachfrage nach kurznasigen Hunden hat in den letzten 100 Jahren zu einer signifikanten Verkürzung der Nasenlänge im Vergleich zur Gesamtlänge des Schädels bei diversen Rassen geführt.<sup>14</sup>

Hinsichtlich der durch die verkürzte Nasenlänge ausgelösten Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegsyndromes (BOAS) besteht weitestgehend Unklarheit. Die bis anhin gültige Lehrmeinung stützt sich auf ein Stauchungsphänomen der Atemwege in der Nasenpassage, was zu stenotisch ausgebildeten Naseneingängen, einem überlangen Palatum, einer vergrößerten Zunge und evertierten Larynxtaschen führen soll.<sup>1,2,9–11,13,21,36</sup> Die Nasenpassage nimmt dabei eine prominente Rolle ein, weil rund 70 % des Atemwiderstandes durch sie generiert wird,<sup>27</sup> wodurch eine selektive Zucht auf kurze Nasen das klinische Bild mit Stridor, Stertor, Hitzeintoleranz und Leistungsschwäche verstärkt.<sup>5</sup> Der im Vergleich zu normocephalen nachgewiesene erhöhte Atemwiderstand und Unterdruck bei brachycephalen Hunden<sup>16</sup> löst demnach einen Teufelskreis aus, welcher zur weiteren Lumeneinengung in den oberen Atemwegen und über die Jahre zur Akzentuierung der klinischen Symptome führt.

Ein Schwachpunkt der obigen Erklärung zur Pathophysiologie ist die Beobachtung, dass brachycephale Hunde vornehmlich bei hohen Aussentemperaturen, wie zum Beispiel im Sommer, unter den klinischen Problemen leiden. Im Weiteren wurde die postulierte Stauchung bisher noch nicht nachgewiesen. Eine alternative Betrachtung rückt die Thermoregulation ins Zentrum der Überlegungen: Das Einatmen der Atemluft durch die Nase und das Ausatmen durch das Maul – hinlänglich bekannt als Hecheln – dient den Hunden zur Thermoregulation.<sup>32</sup> Die evaporativen Oberflächen der Conchae geben dabei Feuchtigkeit ab, welche über weniger grosse Oberflächen in der Maulhöhle abgegeben wird und dabei die Körpertemperatur senkt. Deswegen stellen wir die These auf, dass eine Reduzierung der Oberfläche, wie sie bei brachycephalen Hunden der Fall ist, zu einer verstärkten Atemarbeit führt, welche in der Folge schon bei Junghunden über den resultierenden verstärkten Unterdruck in den oberen Atemwegen zu deren Einengung und Ausprägung des BOAS führt.

Das Ziel unserer Untersuchung war der Nachweis einer beeinträchtigten Thermoregulation bei brachycephalen Hunden. Die Hypothesen lauteten, dass bei brachycephalen Hunden im Vergleich zu normocephalen Hunden während kurzer und standardisierter körperlicher Belastung erstens die Körpertemperatur höher steigt und zweitens sie sich in der folgenden Erholungsphase langsamer reduziert.

## Material und Methoden

Die Gruppe der phänotypisch brachycephalen Hunde (Gruppe B) bestand aus 21 Hunden der Rassen Französische Bulldogge, Englische Bulldogge und Boston Terrier. Die normocephalen Tiere (Gruppe N) bestand aus 15 Hunden der Rassen Cairn Terrier, Cocker Spaniel, Yorkshire Terrier und Mischlinge. Alle Hunde stammten aus dem Patientengut der Daniel Koch Kleintierchirurgie AG, Diessenhofen, Schweiz, waren maximal zehn Jahre alt und abgesehen von den Atemwegsproblemen in der Gruppe B von ihren Besitzerinnen und Besitzern und anlässlich einer tierärztlichen klinischen Allgemeinuntersuchung am Testtag als gesund beurteilt worden.

Die Versuchsanordnung wurde bewilligt (Tierversuchsbewilligung des Veterinäramtes des Kantons Zürich 108/2018) und durch die Besitzerinnen und Besitzer schriftlich akzeptiert. Die Untersuchungen fanden an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Herbst (Aussentemperaturen 24°C, 25°C und 25°C) sowie einem Tag im darauffolgenden Frühling (23°C), wobei an allen Tagen sowohl Hunde der Gruppe N als auch der Gruppe B untersucht wurden.

Die standardisierte körperliche Belastung fand auf einem Laufband (Reebok TR3 Treadmill®, Ochsner Sport, Dietikon, Schweiz) statt. Keiner der Hunde war zuvor auf einem Laufband geführt worden, weswegen die Hunde zunächst an den Raum und an das Laufband gewöhnt werden mussten. Falls notwendig, blieben die Hundebesitzerinnen im Raum oder an der Kopfseite des Hundes. Zur Erfassung der Körpertemperatur wurde eine 5 m lange Rektaltemperatursonde mit einem Durchmesser von 4 mm mit einem Narkoseüberwachungsgerät (Mindray®PM 9000-Vet, Covetrus, Lyssach, Schweiz) verbunden. Die Temperatursonde wurde nach Aufbringen von Kontaktgel via Rektum bis auf die Höhe der letzten Rippe vorgeschoben und deren Austrittsstelle beim Anus markiert. Auf eine Fixierung an der Rute wurde verzichtet, da diese zu Abwehrreaktion seitens der Hunde geführt hätte. Der Sondensitz wurde visuell überwacht und allenfalls korrigiert. Die Hunde mussten zehn Minuten auf dem Laufband mit maximaler Schrittgeschwindigkeit gehen. Zu diesem Zweck wurde die Laufbandgeschwindigkeit für jeden Hund so eingestellt, dass er gerade nicht traben musste. Nach der Belastung wurden die Hunde vom Laufband geführt und mit eingeführter Rektaltemperatursonde zehn Minuten im Raum belassen. Die Körpertemperatur wurde über die 20 Minuten dauernde Belastungs- respektive Erholungsphase minütlich registriert und für jeden Hund zu jedem Zeitpunkt die individuelle Differenz zum Basalwert (Zeitpunkt 0 Minuten) berechnet. Wasser wurde den Hunden erst im Anschluss an die Erholungsphase dargeboten.

Zur Objektivierung der phänotypischen Kopfformeinteilung in brachycephal respektive normocephal wurden die

Thermoregulation als Faktor bei der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegsyndroms des Hundes

D. A. Koch,  
A. C. Piroth, S. Michel

Thermoregulation als Faktor bei der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegsyndroms des Hundes

D. A. Koch,  
A. C. Piroth, S. Michel

Hunde im Anschluss an den Belastungstest radiologisch untersucht (Generator: Esotron® HF CMP 200; digitale Entwicklung: Scanner AGFA® CR30-x, Schweizer AG, Med. Röntgentechnik, Zürich, Schweiz). Es wurde eine dorsoventrale Aufnahme des Schädels angefertigt. Dabei lag der Kopf jeweils so auf einer Schaumstoffunterlage und der darauf platzierten Röntgenkassette, dass das *Palatum durum* möglichst horizontal zu liegen kam. Mittels frei zugänglicher Software (Synedra®, Synedra Schweiz AG, Dübendorf, Schweiz) wurden der Quotient der Nasenlänge zur Cerebrumlänge (S-Index)<sup>12</sup> sowie der Quotient der Gesamtlänge des Schädels zur maximalen Breite des Schädels (LW-Index)<sup>3</sup> bestimmt. Die Klassierung der Hunde in die Gruppen B resp. N wurde anhand des S-Index und des LW-Index überprüft. Dazu wurde für jeden Hund das Wertepaar (S, LW) in einem Diagramm aufgetragen. Der Zusammenhang zwischen dem S-Index und LW-Index wurde mit einer Regression untersucht.

## Statistische Methoden

Die Voraussetzungen für die Anwendung von Welch's t-Tests und der ANOVA wurden geprüft. Dabei konnte die Normalverteilung der Grundgesamtheit mit dem Shapiro-Wilk-Test, der Nachweis von wenigen Ausreißern pro Stichprobe und gleiche Varianz mit einem Mauchly's sphericity test mit einer Greenhouse-Geisser- respektive Huynh-Feldt-Korrektur nachgewiesen werden.<sup>24</sup> Zuerst wurde untersucht, betreffend welcher gemessenen Eigenschaften sich die brachycephalen von den normocephalen Hunden unterscheiden. Die beiden Gruppen wurden dazu mit Welch's two sample t-Tests für jeden Parameter (Alter, Gewicht, S-Index, LW-Index und Basaltemperatur) verglichen. Im zweiten Schritt wurde untersucht, inwiefern diese Parameter einen Einfluss auf den Ver-

lauf der Körpertemperatur haben. Dies wurde mit einem linearen Modell untersucht (R-Funktion «lmer» with interaction term and random slope).

Die statistische Untersuchung der zeitlichen Veränderung der Körpertemperatur wurde für das Lauftraining und die Erholungsphase separat mit je einer Varianzanalyse (zweifach ANOVA vom Typ III mit wiederholten Messungen mit einer Satterthwaits-Korrektur für den Freiheitsgrad; R-Funktion «rm\_anova» aus «rstatistix») vorgenommen.<sup>23</sup> Die Datenanalyse erfolgte mit der Software R (Version 4.1.2). Die Signifikanzgrenze wurde auf 0,05 gesetzt.

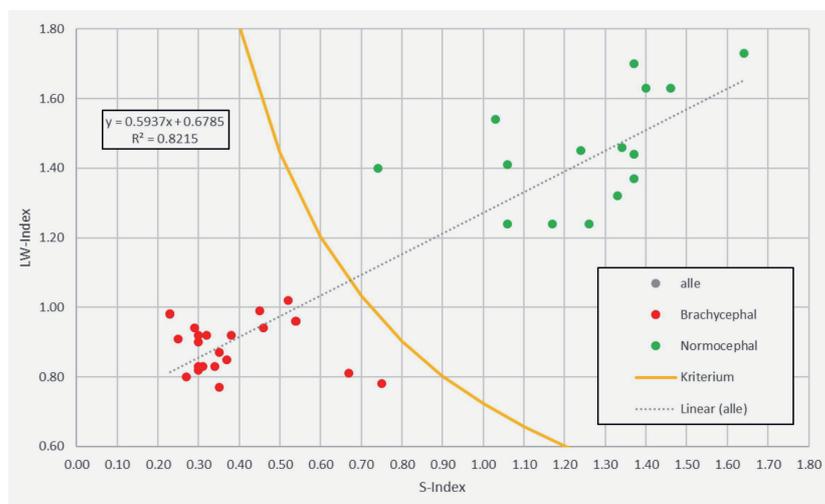
## Resultate

Die Hunde der beiden Gruppen waren hinsichtlich Alter ( $B = 3,8 \pm 2,3$  Jahre;  $N = 2,8 \pm 1,6$  Jahre) und Basalkörpertemperatur ( $B = 38,5 \pm 0,3$  °C;  $N = 38,5 \pm 0,3$  °C) als nicht different berechnet worden ( $p > 0,05$ ). Das Gewicht der Hunde der Gruppe B war signifikant höher als in der Gruppe N ( $B = 12,7 \pm 3,0$  kg;  $N = 9,9 \pm 3,2$  kg,  $p = 0,011$ ). Die Kopfformen unterschieden sich signifikant. Die Hunde der Gruppe B wiesen einen S-Index von  $0,38 \pm 0,14$  und einen LW-Index von  $0,89 \pm 0,07$  auf, die Hunde der Gruppe N einen S-Index von  $1,26 \pm 0,22$  und einen LW-Index von  $1,45 \pm 0,16$  (alle  $p < 0,001$ ).

Zwischen dem S-Index und dem LW-Index ergab sich für die hier untersuchten Hunde die folgende Korrelation:  $LW\text{-Index} = 0,5937 * S\text{-Index} + 0,6785$  ( $R^2 = 0,82$ ). Die Klassierung in brachycephale respektive normocephale Hunde kann mit folgenden quantitativen Kriterien erfolgen: Als brachycephal gilt der Hund, falls  $S\text{-Index} < 0,85$  oder  $LW\text{-Index} < 1,0$ , oder falls der Punkt (S/LW) innerhalb der gelben Linie liegt (Abbildung 1) resp. falls der geometrische Mittelwert der beiden Indexes ( $\sqrt{S * LW}$ )  $< 0,85$  beträgt. Mit diesem Klassierungskriterium wurden alle Hunde so eingeteilt, wie sie als phänotypisch bezeichnet wurden. Die Rasse spielt ebenfalls eine bedeutende Rolle in der Klassierung: Es sind zu 90% Französische Bulldoggen, welche als brachycephal bezeichnet wurden.

Von den untersuchten Parametern (Alter, Gewicht, Basalkörpertemperatur, Kopfform, S-Index und LW-Index) hatten in den linearen Modellen nur die Kopfform, der S-Index und der LW-Index einen signifikanten Einfluss ( $p < 0,001$ ) auf die Temperatur während und nach kurzer physischer Belastung auf dem Laufband. Je tiefer der S- oder der LW-Index eines Hundes war, desto stärker reagierte er mit einer Körpererwärmung auf das Lauftraining.

Die Körpertemperaturverläufe der beiden Gruppen sind für die Laufbandphase in Abbildung 2 und 4 und für die Erholungsphase in Abbildung 3 und 5 dargestellt. Die Boxplot-Diagramme (Abbildung 2 und 3) zeigen, dass zu allen



**Abbildung 1:** Vermessung und Klassierung der Kopfformen: LW-Index versus S-Index der brachycephalen (rot) und der normocephalen Hunde (grün) – Regression zwischen S-Index und LW-Index. Die gelbe Linie zeigt die Grenze zwischen den beiden Gruppen.

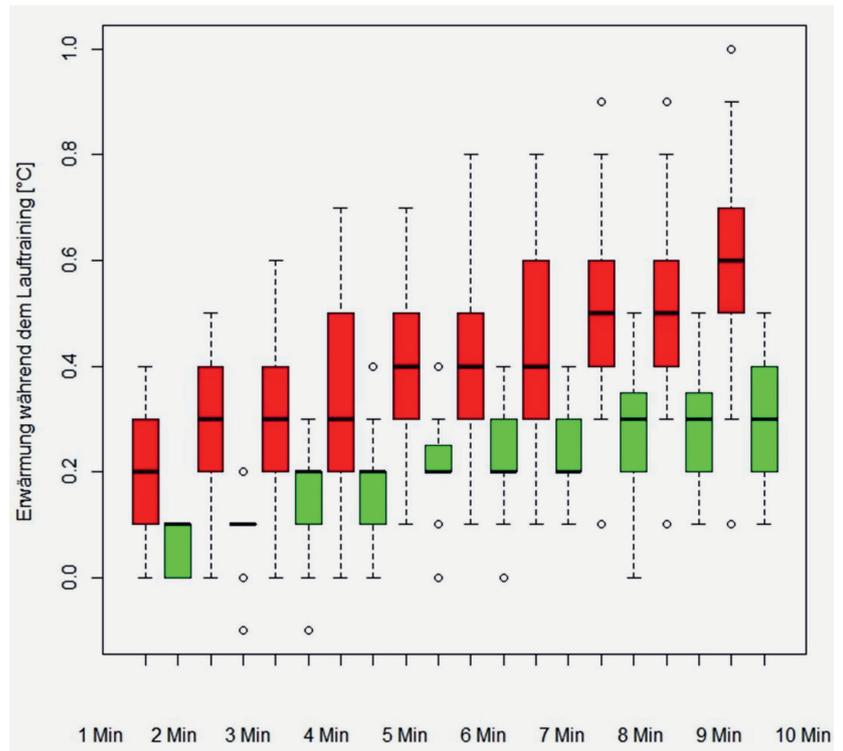
Zeitpunkten höhere Messwerte in der Gruppe B als in der Gruppe N gemessen wurden. Der Unterschied ist gemäss der ANOVA sowohl für die Laufbandphase als auch für die Erholungsphase signifikant. Statistisch nachweisen liess sich dies auch mit Welch's t-Tests mit den Temperaturmessungen, jeweils im Abstand von 5 Minuten während und nach dem Lauftraining (Tabelle 1).

Anhand der mittleren Temperaturverläufe (Abbildung 4 und 5) konnte man erkennen, dass die Temperaturänderungen nicht ideal linear waren: Die Gruppe B zeigte während der Belastungsphase auf dem Laufband zuerst einen steileren Anstieg und dann eine lange Phase mit etwa gleicher Steigung ( $0,039\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Min}$ ) bis am Ende der Laufbandphase. Demgegenüber zeigte die Gruppe N von Beginn weg eine konstante Steigung ( $0,033\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Min}$ ), dies aber nur bis zur Minute 7, dann flachte die Kurve ab ( $0,015\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Min}$ ). Während der Erholungsphase setzte die Abkühlung bei beiden Gruppen etwa bei Minute 13 ein. Die Abkühlraten betragen dann  $-0,017\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Min}$  bei der Gruppe B und  $-0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Min}$  bei der Gruppe N. Die Endphase mit etwas flacherem Temperaturverlauf setzte bei der Gruppe N etwas früher ein (Minute 17) als bei der Gruppe B (Minute 19) und endete bei  $0,15^{\circ}\text{C}$ . Dies ist nur wenig höher als der Ausgangswert. Bei der Gruppe B endete sie bei  $0,44^{\circ}\text{C}$ , was noch sehr deutlich über dem Ausgangswert war.

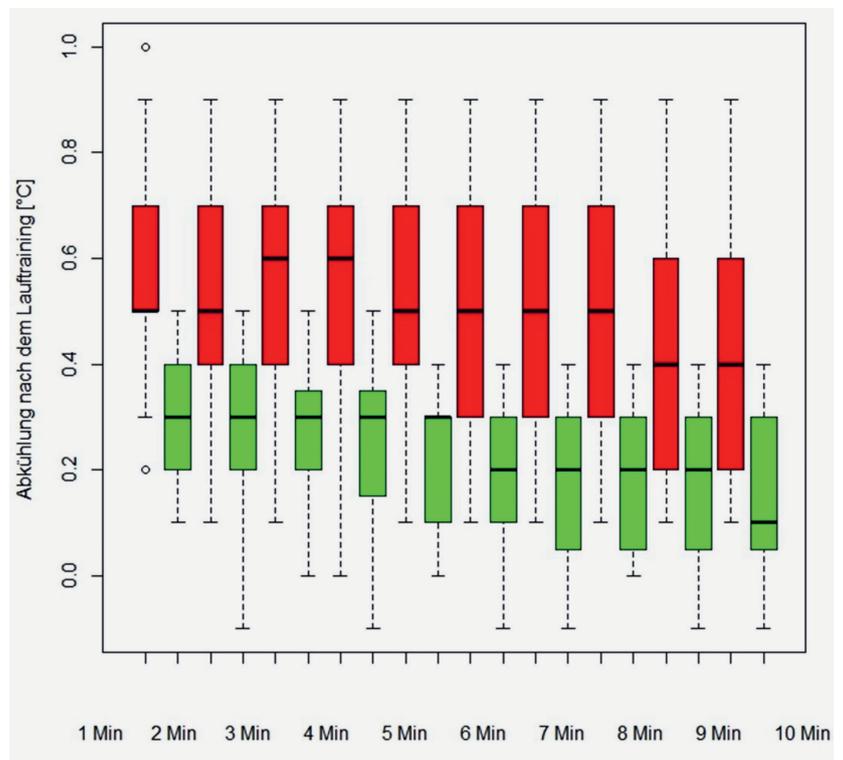
Während der Laufbandphase wurde bei den brachycephalen Hunden mit der ANOVA ein statistisch signifikant stärkerer Anstieg der Temperatur gemessen als bei den normocephalen. Damit konnte die 1. Hypothese bestätigt werden. Die Normalisierung der Körpertemperatur nach der Belastung dauerte bei den brachycephalen Hunden länger, da diese von einem höheren Niveau ausging. Für die Abkühlrate ergab sich allerdings kein statistischer Unterschied, wodurch die 2. Hypothese (die Körpertemperatur reduziert sich in der folgenden Erholungsphase langsamer) verworfen wurde.

## Diskussion

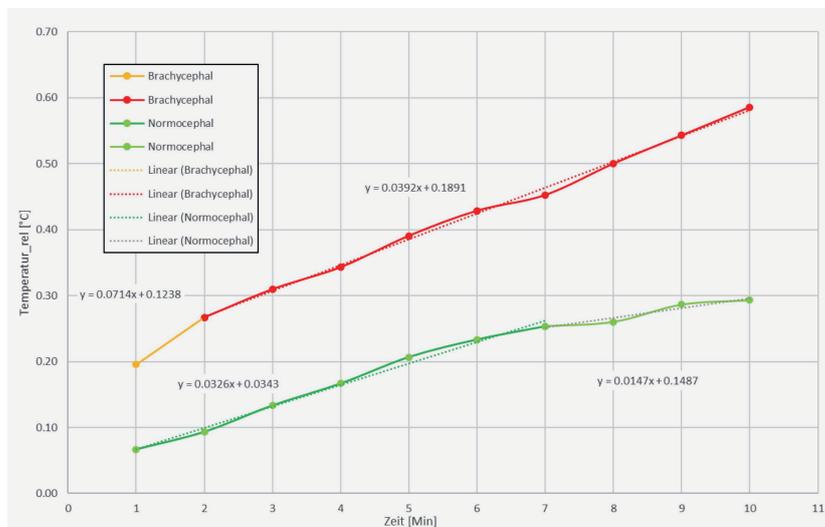
Hunde mit einer kurzen Nase haben offenbar ein Problem der Thermoregulation. Anders ist es nicht zu erklären, dass die brachycephalen Hunde während der Belastungsphase auf dem Laufband und in der Erholungsphase höhere Körpertemperaturen aufwiesen als die normocephalen Hunde und diesen Temperaturunterschied auch in der Erholungsphase konservierten. Der physiologische Hintergrund ist die Tatsache, dass Hunde ihre Körpertemperatur durch den Hechelvorgang regulieren, wobei die Luft über die Nase eingesaugt, an den grossen Oberflächen der Conchae vorbeifliesst, sich dort mit Feuchte belädt und diese dann via Ausstossen über die Maulhöhle entlässt.<sup>32</sup> Man darf also annehmen, dass der Verlust der evaporativen Oberflächen, der bei den kurznasigen Hunden auf Grund eines verkürz-



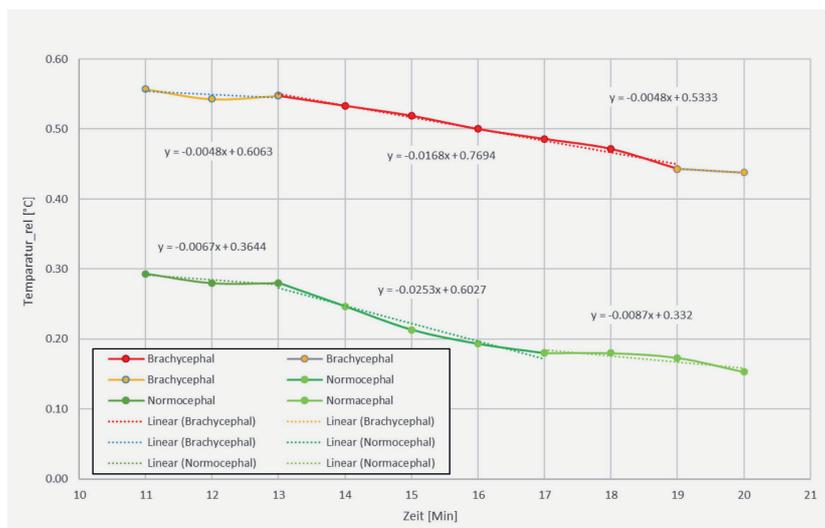
**Abbildung 2:** Verlauf der Körpertemperaturerhöhung gegenüber der individuellen Basaltemperatur während der zehnmütigen Belastungsphase auf dem Laufband (rot = brachycephale Hunde; grün = normocephale Hunde).



**Abbildung 3:** Verlauf der Körpertemperaturerhöhung gegenüber der individuellen Basaltemperatur während der zehnmütigen Erholungsphase (rot = brachycephale Hunde; grün = normocephale Hunde).



**Abbildung 4:** Verlauf der mittleren Körpertemperaturerhöhung während dem zehnmütigen Belastungsphase auf dem Laufband (rot = brachycephale Hunde; grün = normocephale Hunde).



**Abbildung 5:** Verlauf der mittleren Körpertemperaturerhöhung gegenüber der individuellen Basaltemperatur während der zehnmütigen Erholungsphase (rot = brachycephale Hunde; grün = normocephale Hunde).

**Tabelle 1:** Körperbasaltemperatur und Erhöhung der Körpertemperatur bezogen auf den individuellen Basalwert bei brachycephalen (Gruppe B) und normocephalen Hunden (Gruppe N) zu verschiedenen Zeitpunkten vor (Basal), während einer Belastungsphase auf dem Laufband (5 / 10 Min) und nach der kurzen Belastung in der Erholungsphase (15 / 20 Min).

	Basal	5 Min	10 Min	15 Min	20 Min
<b>Gruppe B</b>	38,45 ± 0,31°C	0,39 ± 0,17°C	0,59 ± 0,20°C	0,52 ± 0,20°C	0,44 ± 0,24°C
<b>Gruppe N</b>	38,52 ± 0,35°C	0,21 ± 0,12°C	0,25 ± 0,13°C	0,21 ± 0,14°C	0,15 ± 0,15°C
<b>p-Wert</b>	0,31	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

ten Nasenschädels vorliegen müsste, die Ursache für die hier bei sehr moderater Belastung bewiesene und ansonsten aus der Klinik des BOAS hinlänglich bekannten Hyperthermie<sup>5,21,36</sup> sein muss. Unsere Studie bestätigt und präzisiert die Erkenntnisse aus diversen Belastungstests brachycephaler Hunde. So wurden in den zitierten Arbeiten bereits erhöhte Körpertemperaturen nach 1-km-Läufen<sup>18</sup> und nach kürzeren und langsameren Gehdistanzen<sup>18,22,30</sup> festgestellt sowie in der Plethysmographie-Untersuchung<sup>19</sup> Belastungsgrenzen aufgezeigt. In all diesen Studien konnte der Bezug zum verkürzten Nasenschädel hergestellt werden.

Mittels Infrarot-Thermographie konnte bei Hunden mit BOAS eine markant erhöhte Temperatur im Nasenschädel nachgewiesen werden<sup>6</sup>, was die Bedeutung der Nase bei der Thermoregulation unterstreicht. In allen diesen Untersuchungen sucht man allerdings vergebens den direkten Bezug von der erhöhten Körpertemperatur zur Entstehung des BOAS.

Die weit verbreitete, aber nicht schlüssig formulierte Pathophysiologie des BOAS erhält durch den hier unter standardisierten Bedingungen erbrachten Nachweis der Einschränkung in der Thermoregulation einen neuen Blickwinkel. Die hinlänglich kolportierte Verständniskette legt eigentlich nahe, dass primär die Stauchung der oberen Atemwege und den damit verbundenen Vorwölbungen der Naseneingänge und Gaumensegel in das Atemrohr bei brachycephalen Hunden zu einer Druck- und Widerstandserhöhung in den oberen Atemwegen führe, welche ihrerseits die Passage der Atemluft so behindere, dass sowohl zu wenig Sauerstoff den Lungen zugeführt aber auch die Thermoregulation über die Conchae behindert würde.<sup>2,4,17,26,29</sup> Dabei bleibt die Antwort offen, weshalb die meisten Patienten erst bei steigenden Aussentemperaturen, also im Frühjahr und Sommer, vorgestellt werden.<sup>7</sup>

An dieser Stelle postulieren wir eine Alternative zur bestehenden Pathophysiologie des BOAS: Die Verkürzung des Nasenschädels führt zu einem Verlust an evaporativen Oberflächen auf den Conchae nasales. Vor allem bei Anstrengung und hohen Aussentemperaturen drohen erhöhte Körpertemperaturen, welche durch ein verstärktes Hecheln und einem damit verbundenen verstärkten Unterdruck in den oberen Atemwegen kompensiert werden wollen. Erst

dieser verstärkte Unterdruck und Atemwiderstand,<sup>16</sup> generiert durch die Atemmuskeln, führt zum Einsaugen der Nasenflügel in den Naseneingang und zu deren partieller Obstruktion, zur Verlängerung und Verdickung des Gaumensegels, zur Eversion der Larynxtaschen und auch zur Kranialverlagerung des Magens in das Unterdruckgebiet des Thorax, wonach Regurgitieren beobachtet werden kann.<sup>28</sup> Deswegen erstaunt es auch nicht, dass trotz operativer Weitung der oberen Atemwege Rezidive beobachtet werden,<sup>2,8,9,20,21,35</sup> da das primäre Problem der eingeschränkten Temperaturregulation nicht behandelt werden konnte. Ebenso deckt sich unsere These mit der Beobachtung von aberranten Conchae und deren Nachwachsen trotz Teilresektion zur Beseitigung der nasalen Obstruktion.<sup>25,33</sup> Wir erklären dies mit dem Versuch des Körpers zur Kompensation verloren gegangener thermoregulativ aktiver Oberflächen.

Unsere Beobachtungen dienen in erster Linie der Neuordnung der Pathophysiologie des BOAS. Dabei folgt unser Vorschlag dem allgemein gültigen biologischen Prinzip, dass eine Erkrankung meistens eine einzige Ursache hat. Es ist dies die durch den Menschen verursachte Verkürzung des nasalen Anteils des Schädels, woraus die Beschneidung der Thermoregulation alles andere auslöst. Leider sind unsere Beobachtungen aber nicht geeignet, um Zuchttempfehlungen abzugeben. Die Kopfform, zusammengefasst im Phänotyp, und auch die radiologisch ermittelten quantitativen Schädelparameter (S-Index, LW-Index) erlauben hingegen eine klare Aussage betreffend Temperaturentwicklung. Wie auch immer die Klassierung als brachycephaler Hund erfolgt, sehen wir, dass die Temperaturerhöhung bei diesen Hunden deutlich höher ausfällt.

Hinsichtlich Zuchtsteuerungsfaktoren für brachycephale Rassen stellen wir fest, dass das Merkmal der Temperaturintoleranz wie viele andere Parameter auch (Druck- und Widerstandserhöhung in den oberen Atemwegen, Hypoxieparameter, Lauftestresultate, Adspektion von Nasenspiegel und Gaumensegel)<sup>15,16,18,19,22,30,34</sup> mit der Kopfform korreliert. Die einfach radiologisch zu erhebende und objektiv auswertbare Schädelbemassung sollte deswegen als Kriterium zuhanden der Zuchtverbände eingesetzt werden.

In unserer Studie ergaben sich ein paar Limiten aus dem beschränkten Probenumfang und aus der mangelnden Spezifität der Temperaturmessung. Die Erhöhung in der Gruppe B könnte durchaus auch einen anderen Ursprung als die Naseninnenoberfläche haben, so zum Beispiel eine mögliche Verengung der Trachea oder ein vergleichsweise erhöhter BMI-Score, welcher nicht erhoben wurde. Im Weiteren kann auch die verstärkte Atemarbeit zu einer Temperaturerhöhung beitragen und nicht nur der Verlust der evaporativen Oberflächen. Brachycephale Hunde neigen zu reduzierter Laufleistung und damit zu Fettleibigkeit, was bei vergleichbarer Körpergröße zu einer natürlich bedingten

Einengung der oberen Atemwege durch Fetteinlagerung und zur Behinderung der Laufleistung und des Hechelvorganges führen könnte. Die Temperatursonde war nicht ganz einfach in Position zu halten, bei einigen Hunden kam es dabei zu einem zweiten Probendurchlauf. Zudem waren die meisten Hunde nicht ans Laufband gewöhnt und es könnte sich alleine durch den Stress eine Temperaturerhöhung eingestellt haben. Es wäre demnach sehr wünschenswert, wenn unsere These zur Pathophysiologie des BOAS mit der Ursprungszuweisung zur Thermoregulation von anderen Forschungsgruppen aufgegriffen und kritisch evaluiert würde.

Die klinische Bedeutung unserer Beobachtungen liegt im Beitrag zur Pathophysiologie des BOAS. Hunde mit verkürztem Nasenschädel reagieren mit höherer Körpertemperatur als Hunde mit normallangem Nasenschädel und lösen damit das BOAS aus. Zur Vermeidung des BOAS sollen Hunde mit längerer Nase gezüchtet werden.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Albert-Heim-Stiftung der Schweizerischen Kynologischen Gesellschaft und bei der Schweizerischen Vereinigung für Kleintiermedizin für die finanzielle Unterstützung.

Thermoregulation als Faktor bei der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegsyndroms des Hundes

D. A. Koch,  
A. C. Piroth, S. Michel

Thermoregulation als  
Faktor bei der  
Pathophysiologie des  
brachycephalen oberen  
Atemwegs syndroms des  
Hundes

D. A. Koch,  
A. C. Piroth, S. Michel

## La thermorégulation comme facteur dans la physiopathologie du syndrome des voies respiratoires supérieures brachycéphales chez les chiens

La variation de la température corporelle de 21 chiens brachycéphales et 15 chiens normocéphales a été enregistrée à l'aide d'une sonde rectale pendant une course standardisée de 10 minutes sur un tapis roulant et pendant la phase de récupération de 10 minutes qui a suivi.

Si la température corporelle de base des deux groupes ne différait pas, l'augmentation de la température corporelle à tous les moments représentatifs était significativement différente (5 min :  $0,39 \pm 0,17$  °C contre  $0,21 \pm 0,12$  °C ; 10 min :  $0,59 \pm 0,20$  °C contre  $0,25 \pm 0,13$  °C ; 15 min :  $0,52 \pm 0,20$  °C contre  $0,21 \pm 0,14$  °C ; 20 min :  $0,44 \pm 0,24$  °C contre  $0,15 \pm 0,15$  °C) et était corrélée à la fois à la forme phénotypique de la tête et aux indices crâniens mesurés par radiographie. Alors que la température corporelle augmentait significativement plus rapidement chez les chiens brachycéphales que chez les chiens normocéphales pendant la phase de course sur tapis roulant, les chiens des deux groupes se sont refroidis au même rythme pendant la phase de récupération.

Nous interprétons la différence de variation de température comme une réponse insuffisante des chiens brachycéphales à l'effort physique et postulons une voie alternative dans la physiopathologie du syndrome obstructif des voies respiratoires brachycéphales (BOAS) : le raccourcissement du crâne nasal réduit les surfaces thermorégulatrices des cornets nasaux. L'effort physique et les températures ambiantes élevées entraînent une forte augmentation de la température corporelle, qui est compensée par une respiration accrue et un halètement. Cela conduit à une augmentation de la pression négative dans les voies respiratoires supérieures, provoquant l'aspiration des tissus mous, tels que le cartilage de l'entrée nasale, le palais mou et les poches laryngées, dans les voies respiratoires supérieures et déclenchant les symptômes typiques du BOAS.

**Mots clés:** Chien, brachycéphalie, température, tapis roulant, récupération

## Termoregolazione come fattore nella fisiopatologia della sindrome respiratoria dei cani brachicefali

La variazione della temperatura corporea di 21 cani brachicefali e 15 cani normocefali è stata registrata utilizzando una sonda rettale durante una corsa standardizzata di 10 minuti su tapis roulant e nella successiva fase di recupero di 10 minuti.

Sebbene la temperatura corporea basale dei due gruppi non differisse, l'aumento della temperatura corporea per tutti i punti temporali rappresentativi era significativamente diverso (5 min:  $0,39 \pm 0,17$ °C vs  $0,21 \pm 0,12$ °C; 10 min:  $0,59 \pm 0,20$ °C vs  $0,25 \pm 0,13$ °C; 15 min:  $0,52 \pm 0,20$ °C vs  $0,21 \pm 0,14$ °C; 20 min:  $0,44 \pm 0,24$ °C vs  $0,15 \pm 0,15$ °C) e correleva sia con la forma fenotipica della testa sia con gli indici cranici misurati radiologicamente. Durante la fase su tapis roulant, la temperatura corporea aumentava significativamente più velocemente nei cani brachicefali rispetto ai normocefali, mentre in entrambe le popolazioni la temperatura diminuiva alla stessa velocità nella fase di recupero.

Interpretiamo la differenza nel cambiamento di temperatura come una risposta insufficiente dei cani brachicefali allo sforzo fisico e postuliamo una via alternativa nella fisiopatologia della sindrome respiratoria dei brachicefali (BOAS): l'accorciamento del cranio nasale riduce le superfici termoregolatrici dei turbinati nasali. Lo sforzo fisico e le alte temperature ambientali portano a un rapido aumento della temperatura corporea, che viene compensato da un aumento della frequenza respiratoria e dell'ansimare. Ciò porta a una maggiore pressione negativa nelle vie aeree superiori, causando l'aspirazione dei tessuti molli, come la cartilagine nasale, il palato molle e le tasche laringee, nelle vie respiratorie superiori e innescando i sintomi tipici della BOAS.

**Parole chiave:** cane, brachicefalia, temperatura, tapis roulant, recupero

## Literaturnachweis

<sup>1</sup> Amis TC, Smith MM, Kurpershoek C: Upper airway obstruction in canine laryngeal paralysis. *Am J Vet Res* 1986; 47(10): 1007–1010.

<sup>2</sup> Aron DN, Crowe DT: Upper airway obstruction. General principles and selected conditions in the dog and cat. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1985; 15(5): 891–917.

<sup>3</sup> Brehm H, Loeffler K, Komeyli H: Schädelformen beim Hund. *Zbl Vet Med C Anat Histol Embryol* 1985; 14: 324–331.

<sup>4</sup> Dupre G, Heidenreich D: Brachycephalic Syndrome. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2016; 46(4): 691–707.

<sup>5</sup> Fasanella FJ, Shivley JM, Wardlaw JL, Givaruangsawat S: Brachycephalic airway obstructive syndrome in dogs: 90 cases (1991–2008). *J Am Vet Med Assoc* 2010; 237(9): 1048–1051.

- <sup>6</sup> Gallman J, Lee-Fowler T, Clark-Price S, Grobman M: Evaluation of infrared thermography and 6-minute walk tests to assess airflow limitation, impaired thermoregulation, and exercise intolerance in dogs with brachycephalic obstructive airway syndrome. *PLoS One* 2023; 18(3): e0283807.
- <sup>7</sup> Hall EJ, Carter AJ, O'Neill DG: Incidence and risk factors for heat-related illness (heatstroke) in UK dogs under primary veterinary care in 2016. *Sci Rep* 2020; 10(1): 9128.
- <sup>8</sup> Harvey CE: Upper airway obstruction surgery 8: Overview of Results. *J Am Anim Hosp Assoc* 1982; 18: 567–569.
- <sup>9</sup> Hendricks JC: Brachycephalic airway syndrome. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1992; 22(5): 1145–1153.
- <sup>10</sup> Hobson HP: Brachycephalic syndrome. *Semin Vet Med Surg (Small Anim)* 1995; 10(2): 109–114.
- <sup>11</sup> Knecht CD: Upper airway obstruction in brachycephalic dogs. *Comp Cont Educ Pract Vet* 1979; 1: 25–31.
- <sup>12</sup> Koch D, Wiestner T, Balli A, Montavon P, Michel E, Scharf G, et al.: Proposal for a new radiological index to determine skull conformation in the dog. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2012; 154(5): 217–220.
- <sup>13</sup> Koch DA, Arnold S, Hubler M, Montavon P: Brachycephalic syndrome in dogs. *Comp Cont Educ Pract Vet* 2003; 25(1): 48–55.
- <sup>14</sup> Koch DA, Sturzenegger N: Veränderung des Schädels bei brachycephalen Hunden im Verlaufe der letzten 100 Jahre. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2015; 157(3): 161–163.
- <sup>15</sup> Koch DA, Wenk J, Michel S: Zeitliche Entwicklung von Hypoxie-Markern bei brachycephalen und mesocephalen Hunden nach kurzer physischer Belastung. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2025; 167(3): 175–183.
- <sup>16</sup> Koch DA, Wiestner T, Balli A, Arnold S, Montavon P: Vergleich von transnasalem Druck und Widerstand bei brachycephalen und normocephalen Hunden. *Kleintierpraxis* 2018; 63(5).
- <sup>17</sup> Krainer D, Dupre G: Brachycephalic Obstructive Airway Syndrome. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2022; 52(3): 749–780.
- <sup>18</sup> Lilja-Maula L, Lappalainen AK, Hyytiäinen HK, Kuusela E, Kaimio M, Schildt K, et al.: Comparison of submaximal exercise test results and severity of brachycephalic obstructive airway syndrome in English bulldogs. *Vet J* 2017; 219: 22–26.
- <sup>19</sup> Liu NC, Adams VJ, Kalmar L, Ladlow JF, Sargan DR: Whole-Body Barometric Plethysmography Characterizes Upper Airway Obstruction in 3 Brachycephalic Breeds of Dogs. *J Vet Intern Med* 2016; 30(3): 853–865.
- <sup>20</sup> Liu NC, Oechtering GU, Adams VJ, Kalmar L, Sargan DR, Ladlow JF: Outcomes and prognostic factors of surgical treatments for brachycephalic obstructive airway syndrome in 3 breeds. *Vet Surg* 2017; 46(2): 271–280.
- <sup>21</sup> Lorinson D, Bright RM, White RAS: Brachycephalic airway obstruction syndrome – a review of 118 cases. *Canine Practice* 1997; 22: 18–21.
- <sup>22</sup> Martin V, M.: Aussagekraft eines Belastungstests für Mörse bezüglich mit dem brachycephalen Atemnotsyndrom assoziierter Probleme. Thesis: Ludwig-Maximilians-Universität, 2012.
- <sup>23</sup> Meier L: Repeated Measures ANOVA (RM ANOVA) and Mixed Effects Models Seminar für Statistik, 2023/2024; ETH Zürich; 2024.
- <sup>24</sup> Muhammad LN: Guidelines for repeated measures statistical analysis approaches with basic science research considerations. *J Clin Invest* 2023; 133(11).
- <sup>25</sup> Oechtering GU, Pohl S, Schlueter C, Schuenemann R: A Novel Approach to Brachycephalic Syndrome. 2. Laser-Assisted Turbinectomy (LATE). *Vet Surg* 2016; 45(2): 173–181.
- <sup>26</sup> Oechtering TH, Oechtering GU, Nöller C: Strukturelle Besonderheiten der Nase brachycephaler Hunderassen in der Computertomographie. *Tierärztl Prax* 2007; 35: 177–187.
- <sup>27</sup> Ohnishi T, Ogura JH: Partitioning of pulmonary resistance in the dog. *Laryngoscope* 1969; 79: 1847–1878.
- <sup>28</sup> Poncet CM, Dupre GP, Freiche VG, Estrada MM, Poubanne YA, Bouvy BM: Prevalence of gastrointestinal tract lesions in 73 brachycephalic dogs with upper respiratory syndrome. *J Small Anim Pract* 2005; 46(6): 273–279.
- <sup>29</sup> Riecks TW, Birchard SJ, Stephens JA: Surgical correction of brachycephalic syndrome in dogs: 62 cases (1991–2004). *J Am Vet Med Assoc* 2007; 230(9): 1324–1328.
- <sup>30</sup> Riggs J, Liu NC, Sutton DR, Sargan D, Ladlow JF: Validation of exercise testing and laryngeal auscultation for grading brachycephalic obstructive airway syndrome in pugs, French bulldogs, and English bulldogs by using whole-body barometric plethysmography. *Vet Surg* 2019; 48(4): 488–496.
- <sup>31</sup> Schmidt MJ, Volk H, Klingler M, Failing K, Kramer M, Ondreka N: Comparison of closure times for cranial base synchondroses in mesocephalic, brachycephalic, and Cavalier King Charles Spaniel dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2013; 54(5): 497–503.
- <sup>32</sup> Schmidt-Nielsen K, Bretz WL, Taylor CR: Panting in dogs: unidirectional air flow over evaporative surfaces. *Science* 1970; 169: 1102–1104.
- <sup>33</sup> Schuenemann R, Oechtering G: Inside the brachycephalic nose: conchal regrowth and mucosal contact points after laser-assisted turbinectomy. *J Am Anim Hosp Assoc* 2014; 50(4): 237–246.
- <sup>34</sup> Sharp CAT, Liu NC, Guy A, Ladlow JF: The mobility of the brachycephalic canine nostril in relation to the degree of nostril stenosis. *Vet J* 2024; 304: 106085.
- <sup>35</sup> Torrez CV, Hunt GB: Results of surgical correction of abnormalities associated with brachycephalic airway obstruction syndrome in dogs in Australia. *J Small Anim Pract* 2006; 47(3): 150–154.
- <sup>36</sup> Wykes PM: Brachycephalic airway obstructive syndrome. *Probl Vet Med* 1991; 3(2): 188–197.

Thermoregulation als Faktor bei der Pathophysiologie des brachycephalen oberen Atemwegs syndroms des Hundes

D. A. Koch,  
A. C. Piroth, S. Michel

## Korrespondenzadresse

Daniel Koch  
Daniel Koch Kleintierchirurgie AG  
Grabenstrasse 25  
CH-8253 Diessenhofen  
E-Mail: daniel.koch@dkoch.ch