

Klinik für Kleintierchirurgie
Der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. med. vet. Pierre M. Montavon)

Arbeit unter der gemeinsamen Leitung von PD Dr. med. vet. Susi
Arnold, Abteilung für Kleintierfortpflanzung und Dr. med. vet.
Daniel Koch, Klinik für Kleintierchirurgie

**Rhinomanometrische Parameter bei gesunden Hunden
in Abhängigkeit vom radiologisch erfassten
Brachycephaliegrad**

Inaugural-Dissertation

Zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Vorgelegt von

Aaron Balli

Tierarzt
Von Muralto, Schweiz

Genehmigt auf Antrag von

PD Dr. Susi Arnold, Referentin
Prof. Dr. Andreas Steiger, Korreferent

Zürich 2004

1 ZUSAMMENFASSUNG

Kurzköpfige Hunde sind prädisponiert für Probleme der oberen Atemwege, welche unter dem Begriff brachycephales Syndrom zusammengefasst werden. Offenbar hat die Schädelkonformation auf die Atmungsfähigkeit einen wesentlichen Einfluss, der bisher nicht endgültig geklärt ist. Es wird vermutet, dass bei Kurzköpfigkeit der Nasenwiderstand abnormal hoch ist und die Verlagerung von Weichteilen in den Luftstrom begünstigt.

Das Ziel der Studie bestand in der Erforschung des Zusammenhangs zwischen dem Brachycephaliegrad und dem Nasenwiderstand an einer grösseren Gruppe atmungsgesunder Hunde unterschiedlicher Rassen.

In Teil A werden Röntgenbilder der Hundeschädel anhand der herkömmlichen Kriterien (Hirnkapsellänge/Gesichtsschädellänge; Gesamtschädellänge/Gesamtschädelbreite; kraniofazialer Winkel) klassifiziert und die Methoden verglichen. Es hat sich gezeigt, dass sich der Index aus Hirnkapsellänge zu Gesichtsschädellänge (S-Index) für die Beurteilung des Brachycephaliegrades am besten eignet.

Teil B erfasst die rhinomanometrischen Parameter und setzt diese in Beziehung zum Brachycephaliegrad (S-Index) der Hunde. Insgesamt wurden 64 Hunde untersucht, wovon 24 in die Gruppe der brachycephalen (S-Index ≥ 0.8) und 40 in die Gruppe der normocephalen (S-Index < 0.8) fielen. Der transnasale Druck (P) und der Nasenwiderstand (Q) waren bei den Brachycephalen signifikant höher (P = 5.50 ± 3.41 mbar; Q = 55.1 ± 33.0 mbar (l/s)⁻¹) als bei den Normocephalen (P = 2.66 ± 1.50 mbar; Q = 15.6 ± 11.7 mbar (l/s)⁻¹).

Hunde mit einem hohen transnasalen Druck bei Inspiration müssen einen grösseren Unterdruck generieren, um sich adäquat mit Luft versorgen zu können. Die Resultate dieser Studie legen nahe, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Nasenwiderstand und dem brachycephalen Syndrom besteht.

2 SUMMARY

Brachycephalic breeds are predisposed to problems of the upper respiratory tract that come under the term of brachycephalic syndrome. Apparently, the skull structure has an important influence on the respiratory function that has not yet been fully elucidated. It is assumed that the short head is responsible for an abnormally high nasal resistance and this results in the soft tissues being drawn into the air-stream.

The aim of this study was to study the correlation between the degree of brachycephaly and nasal resistance in a large group of dogs, of various breeds, that had no breathing problems.

In part A radiographs of canine skulls were classified according to established criteria (length of the cerebrum/length of the facial skull; length of the skull/width of the skull; craniofacial angle) and a comparison made between the methods. It turned out that the index of the length of the cerebrum to the length of the facial skull (S-index) was the most suitable method for evaluating the brachycephaly.

In part B the rhinomanometric parameters of dogs were recorded and correlated with the degree of their brachycephaly (S-index). A total of 64 dogs were examined, of which 24 belonged to the brachycephalic group (S-index ≥ 0.8) and 40 to the normocephalic group (S-index < 0.8). The transnasal pressure (P) and the nasal resistance (Q) of brachycephalic dogs were significantly higher (P = 5.50 ± 3.41 mbar; Q = 55.1 ± 33.0 mbar(l/s)⁻¹) compared to normocephalic dogs (P = 2.66 ± 1.50 mbar; Q = 15.6 ± 11.7 mbar(l/s)⁻¹).

Dogs with a high transnasal pressure during inspiration have to generate a higher negative pressure for an adequate supply of air. Based on this knowledge, along with the results of this study, it is quite feasible that there is a causal correlation between the nasal resistance and the brachycephalic syndrome.

3 EINFÜHRUNG

Kurzköpfige Hunde sind prädisponiert für Probleme der oberen Atemwege. Diese werden unter dem Begriff brachycephales Syndrom (BS) zusammengefasst (Aron und Crowe, 1985). Als charakteristische Befunde können bei betroffenen Hunden verengte Nasenlöcher, verlängertes Gaumensegel, vergrösserte und eventuell evertierte Tonsillen, ausgestülpte Kehlkopftaschen und Larynxkollaps, diagnostiziert werden. Diese Veränderungen können einzeln oder in Kombination auftreten und beeinträchtigen die Atmungsfunktion, was sich bei geringer Ausprägung in diskretem Schnarchen, in schweren Fällen in hochgradiger Dyspnoe, Zyanose und Kollaps manifestieren kann (Aron und Crowe, 1985). Sommerliche Temperaturen verschlimmern die Symptome und führen nicht selten zu fatalen Erstickungsanfällen (Hendricks, 1992).

Offenbar hat die Schädelkonformation auf die Atmungsfähigkeit einen wesentlichen Einfluss, der bisher nicht endgültig geklärt ist. Aus der Tatsache, dass das BS hauptsächlich bei kurzköpfigen Hunden auftritt, wird auf einen kausalen Zusammenhang geschlossen. Es wird vermutet, dass bei Kurzköpfigkeit der Nasenwiderstand abnormal hoch ist (Amis und Kurpershoek, 1986; Hendricks, 1992; Koch et al., 2003; Orsher, 1993; Wykes, 1991). Aus physikalischen und biologischen Gründen müsste ein hoher Nasenwiderstand bei Inspiration durch einen abnorm starken Unterdruck im restlichen Atmungsapparat kompensiert werden, um den Körper adäquat mit Sauerstoff zu versorgen. Durch diesen Unterdruck müssten die Weichteile erwartungsgemäss ins Lumen des Atmungstraktes hineingezogen werden und damit zu den typischen Veränderungen des BS führen. Zwar wurde die Hypothese des erhöhten Nasenwiderstandes als Ursache noch nie belegt, aber die für das BS charakteristischen Veränderungen wie verlängertes Gaumensegel, evertierte Tonsillen, ausgestülpte Kehlkopftaschen und Larynxkollaps wären aus physikalischer Sicht vereinbar mit der Einwirkung eines übermässigen inspiratorischen Unterdrucks (Aron und Crowe, 1985; Harvey, 1982; Knecht, 1979; Koch et al., 2003).

Sowohl die Ätiologie als auch die Pathophysiologie des BS sind nach wie vor spekulativ. Fest steht lediglich, dass es als Dispositionserkrankung zu den hereditären Problemen zählt. Weil es dabei zu Erstickungsanfällen mit tödlichem Ausgang kommen kann, stellt es gleichzeitig eine Erkrankung mit hoher Tierschutzrelevanz dar. Die Abklärung von Ätiologie und Pathophysiologie des BS drängt sich auf, denn nur auf der Basis dieser Kenntnisse könnten sinnvolle Zuchtstrategien entwickelt werden mit dem Fernziel, das Problem zu eliminieren.

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand in der Erforschung des Zusammenhangs zwischen dem Brachycephaliegrad und dem Nasenwiderstand an einer grösseren Hundegruppe unterschiedlicher Rassen. In Teil A werden die herkömmlichen Methoden der Schädelklassifikation verglichen bzw. für die Anwendung am Röntgenbild modifiziert. In Teil B werden der transnasale Druck und der Nasenwiderstand der Hunde rhinomanometrisch erfasst und diese Parameter in Beziehung zum Brachycephaliegrad gesetzt.

4 Teil A:

Radiologische Methode zur Klassifizierung der Schädeltypen und Beurteilung des Brachycephaliegrades beim Hund

4.1 EINLEITUNG

Bereits im vorletzten Jahrhundert wurden die Hunde anhand von Schädelpräparaten in dolichocephale und brachycephale Rassen eingeteilt, wobei auch auf die Zwischenformen wie Pinscher und Dackel hingewiesen wurde (Ellenberger und Baum, 1891). Für diese Zwischenformen bürgerte sich in der Folge die Bezeichnung „mesocephal“ ein.

Wiederholte Anstrengungen wurden unternommen, um diese drei Kategorien an Schädelmasse zu koppeln. In der deutschsprachigen Literatur stützte sich die Einteilung hauptsächlich auf das Verhältnis von Hirnkapsellänge zu Gesichtsschädellänge (Wagner, 1930). In der angelsächsischen Literatur hingegen wurde das Verhältnis zwischen Gesamtschädellänge zu Gesamtschädelbreite als Grundlage für die Klassifizierung herangezogen (Evans und Christensen, 1979). Die unterschiedlichen Beurteilungskriterien führten zu einer abweichenden Zuordnung der Rassen zu den brachy-, meso- und dolichocephalen Typen. Brehm et al. (1985) suchten einen Ausweg aus diesem Dilemma, indem sie an insgesamt 119 Hundeschädeln überprüften, welcher Index die realen Verhältnisse am besten charakterisierten. Sie kamen zum Schluss, dass sich der Index Hirnkapsellänge zu Gesichtsschädellänge unter Berücksichtigung der Hirnschädelform für die Klassifizierung am besten eignet. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, dass bei den Indexberechnungen innerhalb der einzelnen Rassen erhebliche Streuungen auftreten. Die Einteilungen von Evans und Christensen (1979) und Brehm et al. (1985) wurden anhand von präparierten Hundeschädeln vorgenommen. Dabei wurden z.T. Längen

ausgemessen, deren Endpunkte im Röntgenbild nicht immer erkennbar sind.

Regodon et al. (1993) waren die ersten, die eine Klassifizierung basierend auf Röntgenbildern von Hundeschädeln vorschlugen. Sie zogen den kraniofazialen Winkel als Kriterium herbei. Auf laterolateralen Röntgenbildern von je zehn ausgewachsenen Vertretern der Rassen Greyhound, Deutscher Schäferhund, Pointer, Boxer und Pekinese bestimmten sie den Winkel und stellten fest, dass dieser in der oben genannten Reihenfolge der Hunderassen abnahm und sich die Messdaten der Gruppen nur unwesentlich überlappten. Da jedoch nur lediglich fünf verschiedene Hunderassen in die Studie einbezogen wurden blieb unklar, ob die vorgeschlagene Methode auch bei einem breiteren Rassespektrum eine sinnvolle Einteilung ergeben würde.

Eine Adaptation der bewährten Ausmessungen mit Indexbildung (Hirnkapsellänge / Gesichtsschädellänge und Gesamtschädellänge / Gesamtschädelbreite) auf das Röntgenbild mit Ueberprüfung der Resultate drängte sich deshalb auf. Dies geschah im Rahmen der vorliegenden Studie anhand von Röntgenbildern zahlreicher Hunde verschiedener Rassen, wobei auf den gleichen Aufnahmen zugleich der kraniofaziale Winkel nach Regodon et al. (1993) bestimmt wurde. Das Ziel der Studie bestand darin, durch Vergleich der drei Methoden diejenige zu eruierten, welche die realen Verhältnisse am Hundeschädel am sinnvollsten widerspiegelt und damit eine eindeutige Klassifizierung der Hunde in brachy- und normocephale (meso- und dolichocephale) Typen erlaubt. Das Resultat diene als Ausgangslage für eine Folgestudie, in welcher bei den gleichen Hunden der transnasale Widerstand spirometrisch gemessen und die Daten auf dem Hintergrund des eruierten Schädeltypus analysiert wurden (s. Teil B).

4.2 TIERE UND METHODEN

4.2.1 Tiere

Bei insgesamt 64 adulten Hunden verschiedener Rassen, Grössen und beiden Geschlechts wurden Röntgenbilder des Schädels angefertigt und der Nasenwiderstand gemessen (s. Teil B). Die Hunde stammten aus dem Patientengut der Klinik der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich. Sie waren für einen geplanten chirurgischen Eingriff eingewiesen worden (v.a. Kastrationen) oder eine Allgemeinanästhesie war für die Durchführung einer speziellen Untersuchung (z.B. Röntgenkontraststudien bei harninkontinenten Hündinnen) geplant. Alle Hunde waren entweder vollständig gesund oder wiesen ein gesundheitliches Problem auf, das ausserhalb des Atmungstraktes lokalisiert war. Aufgrund der Anamnese litt keiner der Hunde an einer schwerwiegenden Erkrankung und mit der Allgemeinuntersuchung wurde eine Atemwegspathologie ausgeschlossen. Die folgenden Laborparameter lagen bei allen Hunden im Normalbereich: Hämatokrit, Gesamtzahl der Erythrozyten und Leukozyten, Blutharnstoff, Kreatinin, Gammaglutamyltransferase, Aspartattransferase, alkalische Phosphatase, Natrium, Kalium, Kalzium, Chlorid und Phosphor. Sämtliche Tierbesitzer hatten sich damit einverstanden erklärt, dass bei ihren Hunden die folgenden Zusatzuntersuchungen¹ durchgeführt werden durften: Aufzeichnung der spontanen Atmungskurve in Sedation sowie rhinomanometrische Messungen und Anfertigung von Röntgenaufnahmen des Schädels in Narkose.

4.2.2 Vorbereitung der Hunde

Vor der Narkoseprämedikation hatten die Hunde während mindestens 12 Stunden gefastet. Zur Sedation wurden Buprenorphin (Temgesic®, Essex Chemie AG, Luzern, 0.007 mg/kg KG) und Acepromazin (Prequillan®,

¹ Tierversuch vom Veterinäramt des Kantons Zürich mit Bewilligungsnummer 44/2003 genehmigt.

FATRO s.p.a., Ozzano Emilia, 0.03 mg/kg KG) in eine Mischspritze aufgezogen und intramuskulär appliziert. Nach Eintritt der Sedation wurde am stehenden Hund die spontane Atmungskurve aufgezeichnet (s. Teil B). Rund 1 Stunde nach Verabreichung der Sedation wurde ein Katheter in die V. cephalica antebrachii eingeführt und die Narkose mittels Propofol (Propofol-®Lipuro 1%, Braun Medical AG, Emmenbrücke, 4 mg/kg KG) eingeleitet. Nach trachealer Intubation wurde die Narkose mit einem Gasgemisch bestehend aus Lachgas und Sauerstoff (3:2) unter Beimengung von Halothan (1 bis 2 %) aufrechterhalten. Nach rhinomanometrischer Messung (s. Teil B) wurde je ein laterolaterales und ein dorsoventrales Röntgenbild des Schädels angefertigt.

4.2.3 Bestimmung der Schädelindizes

Auf dem laterolateralen Röntgenbild wurde der kraniofaziale Winkel gemäss Regodon (1993) bestimmt. Dieser Winkel wird bestimmt durch eine Verbindungslinie vom Sulcus chiasmatis (kaudale Begrenzung der Canalis opticus im Schädelboden, Os präsphenoitale) und der kaudoventralen Begrenzung des Os occipitale sowie der Verlängerung des Palatum durum (s. Abb. 1).

Auf dem dorsoventralen Röntgenbild wurden folgende Längen gemessen (s. Abb. 2):

- a) *Hirnkapsellänge*: Von der kaudalen Kontur des Os occipitale, am Dorsalrand des Foramen magnum bis zur rostralen Begrenzung des Cavum cranii
- b) *Gesamtschädellänge*: Von der kaudalen Kontur des Os occipitale, am Dorsalrand des Foramen magnum bis zur rostralen Begrenzung des Os incisivum
- c) *Gesichtsschädellänge*: Von der rostralen Begrenzung des Cavum cranii bis zur rostralen Begrenzung des Os incisivum
- d) *Gesamtschädelbreite*: Die grösste Distanz zwischen der äusseren Begrenzung der beiden Os zygomatica

Der Schädel-Index (S) berechnet sich aus der Hirnkapsellänge dividiert durch die Gesichtsschädellänge. Dieser Index entspricht nicht dem Längen-Längen²-Index (LL2) nach Brehm et al. (1985), denn anstelle der Grenze zwischen Os frontale und Os nasale, die im Röntgenbild selten sichtbar ist, wurde die rostrale Begrenzung des Cavum cranii als Fixpunkt herangezogen. Um die Vergleichbarkeit des S-Index mit dem LL2-Index nach Brehm et al. (1985) zu prüfen, wurden dorsoventrale Röntgenaufnahmen von 6 Schädelpräparaten verschiedener Rassen angefertigt, nachdem eine Metallmarke an der Suture zwischen Os frontale und Os nasale angebracht worden war. Diese Röntgenbilder erlaubten sowohl die Bestimmung des S-Index wie auch des LL2-Index nach Brehm et al. (1985).

Der Längen-Breiten-Index LB als Resultat aus Gesamtschädellänge dividiert durch die Gesamtschädelbreite entspricht dem Längen-Breiten²-Index (LB2) nach Brehm et al. (1985), weil im Röntgenbild wie im Schädelpräparat die Distanzen zwischen den gleichen Punkte ausgemessen werden.

4.2.4 Kriterien zur Einteilung der Schädelformen

Der neu erhobene S-Index wurde mit Hilfe des LB-Index nach Brehm et al. (1985) kalibriert. Als Grenze zwischen brachycephalen und normocephalen Hunden wurde derjenige S-Index bestimmt, bei welchem die Gruppierung der Hunde möglichst gut mit der Einteilung nach Brehm (1985) übereinstimmte.

4.2.5 Kriterien zum Vergleich der Indizes

Zur Überprüfung des S-Index, des LB-Index nach Brehm et al. (1985) und des KFW nach Regodon et al. (1993) wurden die Hunde der Studie aufgrund ihres Phänotypus in brachycephale und normocephale Vertreter eingeteilt. Dabei wurden folgende Rassen der brachycephalen Gruppe zugeordnet: Mops, Französische Bulldogge, Cavalier King Charles Spaniel, Staffordshire

Bullterrier, Bordeaux Dogge (Brehm et al., 1985; Regodon et al., 1993), Boxer (Brehm et al., 1985), Norwich Terrier (Koch et al., 2003; Rosaspina, 2004). Alle anderen Hunde der Studie wurden den normocephal beurteilt. Als beste Methode zur Klassifizierung wurde diejenige bestimmt, bei welcher unter Berücksichtigung des jeweiligen Grenzwertes am wenigsten brachycephale Rassevertreter in die normocephale Gruppe zu liegen kamen und umgekehrt. Als brachycephal galten nach Brehm et al. (1985) LB-Indizes unter 1.44 und nach Regodon et al. (1993) KFW unter 14 °. Da die mesocephalen Hunde nach dieser Autorengruppe erst bei 20° beginnt, haben wir 20° als Grenzwert herangezogen.

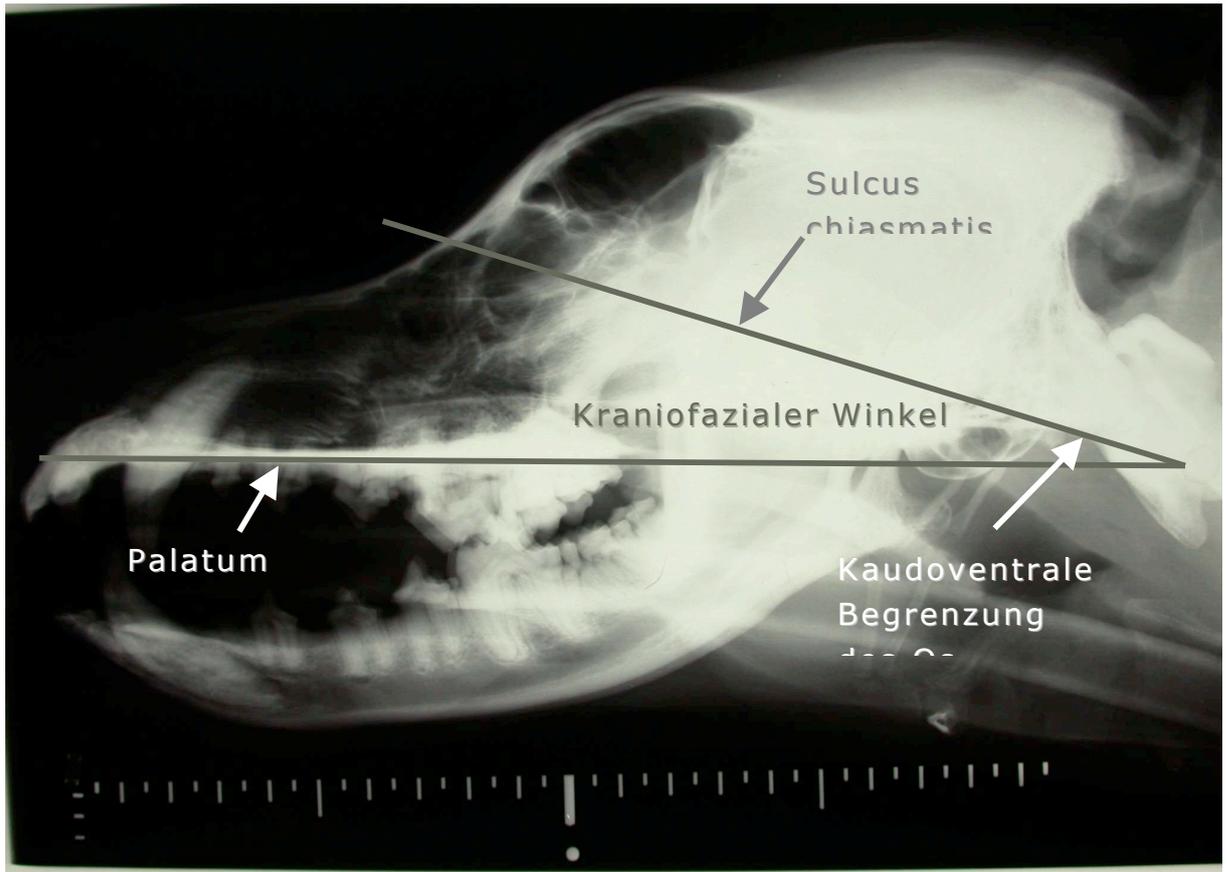


Abb. 1
 Röntgenbild eines Hundekopfes nach laterolateralem Strahlengang mit Hilfslinien und Fixpunkten zur Bestimmung des kraniofazialen Winkels nach Regodon et al. (1993)

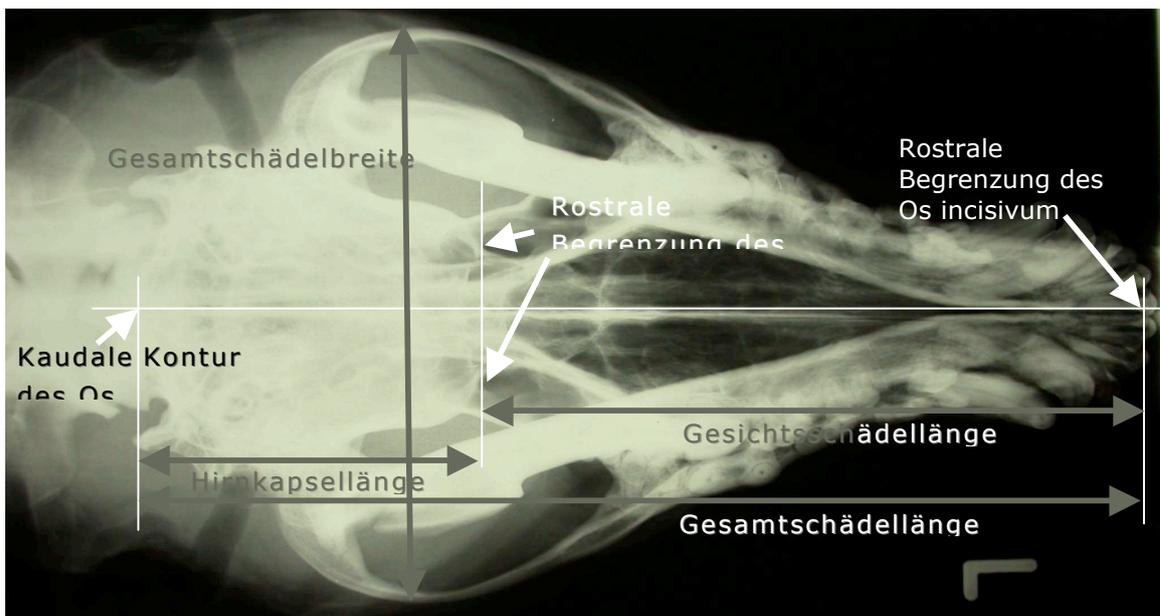


Abb. 2
 Röntgenbild eines Hundekopfes nach dorsoventralem Strahlengang mit Hilfslinien und Fixpunkten zur Bestimmung des Schädel-Index S (Hirnkapsellänge zu Gesichtsschädellänge) und des Längen-Breiten-Index LB (Gesamtschädellänge zu Gesamtschädelbreite) nach Brehm et al. (1985).

4.3 RESULTATE

Von den insgesamt 64 Hunden waren 56 Rassehunde, die 27 verschiedenen Rassen angehörten. Davon waren 31 weiblich und 25 männlich. Die restlichen 8 waren weibliche Mischlingshunde. Ihr Körpergewicht betrug 4.7 bis 53.0, durchschnittlich 19.5 kg.

Die Schädelindizes nach unserer Methode (S-Index), der LB-Index nach Brehm et al. (1985) und der KFW nach Regodon et al. (1993) sind in Tab. 1 erfasst. Das Spektrum der S-Indizes reichte von 6.08 bis 0.48, der LB-Indizes von 2.05 bis 0.88 und der KFW von 10° bis 32° (s. Tab. 1).

Der LL2-Index fiel bei allen sechs Schädelpräparaten grösser aus als der S-Index (s. Abb. 3), und zwar beim Barsoi um den Faktor 2.2, beim Pharaonenhund um 1.8, beim Dackel um 1.8, beim Cocker Spaniel um 1.7, bei der englischen Bulldogge um 1.6 und beim Pekinesen um 1.9.

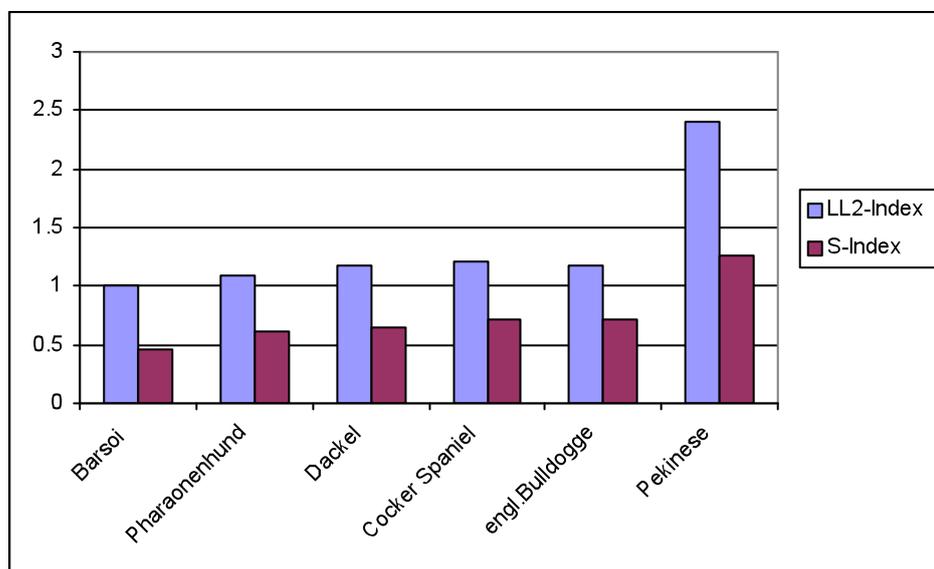


Abb. 3

S-Index und LL2-Index nach Brehm et al. (1985) berechnet anhand der Röntgenbilder von sechs Schädelpräparaten

Tabelle 1

Resultate von drei Methoden zur Klassifizierung von Hundeschädeln basierend auf den Röntgenbildern von 64 Hunden: S-Index (S), LB-Index (LB) und kraniofazialer Winkel (KFW). Die Werte sind so aufgelistet, dass der Brachycephaliegrad nach unten abnimmt. Die Hunde 1 bis 24 sind grau hinterlegt.

Nr	Rasse	Sex	S	Nr	LB	Nr	KFW
1	Mops	w	6.08	1	0.88	4	10
2	Franz. Bulldogge	wk	2.85	2	0.89	1	12
3	Engl. Bulldogge	w	1.98	3	0.99	2	14
4	Cav. King Charles	w	1.92	14	1.15	3	14
5	Norwich Terrier	w	1.33	22	1.16	14	16
6	Norwich Terrier	w	1.27	23	1.21	23	16
7	Norwich Terrier	w	1.25	4	1.26	11	18
8	Norwich Terrier	w	1.21	20	1.27	15	18
9	Norwich Terrier	m	1.18	11	1.30	19	18
10	Norwich Terrier	w	1.12	7	1.31	24	18
11	Norwich Terrier	m	1.08	15	1.31	9	19
12	Norwich Terrier	w	1.08	8	1.35	22	19
13	Norwich Terrier	m	1.08	13	1.37	52	19
14	Boxer	mk	1.04	12	1.38	54	19
15	Boxer	wk	1.02	6	1.38	12	20
16	Norwich Terrier	m	1.02	25	1.38	18	20
17	Norwich Terrier	w	1.02	16	1.38	25	20
18	Norwich Terrier	w	1.00	5	1.40	34	20
19	Border Terrier	m	1.00	18	1.40	36	20
20	Boxer	wk	0.93	9	1.41	38	20
21	Norwich Terrier	wk	0.92	10	1.46	39	20
22	Staff. Bullterrier	mk	0.83	19	1.47	46	20
23	Bordeaux Dogge	w	0.80	21	1.48	47	20
24	Mischling	w	0.80	39	1.50	50	20
25	Norwich Terrier	m	0.79	36	1.53	56	20
26	Beagle	w	0.77	17	1.53	7	21
27	Mischling	wk	0.77	55	1.54	8	21
28	Beagle	mk	0.77	34	1.55	28	21
29	Jack Russell	mk	0.76	35	1.56	13	22
30	Beagle	w	0.76	30	1.56	16	22
31	Beagle	w	0.76	46	1.56	30	22
32	Beagle	mk	0.74	48	1.57	48	22
33	Labrador Retriever	wk	0.73	47	1.59	62	22
34	Eurasier	m	0.72	33	1.61	63	22
35	Golden Retriever	m	0.71	54	1.62	64	22
36	Lagotto Romagnolo	m	0.70	49	1.63	5	23
37	Bearded Collie	wk	0.70	53	1.64	6	23
38	Dalmatiner	mk	0.68	24	1.64	17	23
39	Mischling	wk	0.68	52	1.65	20	23
40	Beagle	w	0.66	27	1.65	21	23
41	Beagle	mk	0.65	32	1.65	10	24
42	Beagle	mk	0.65	44	1.66	26	24
43	Beagle	w	0.64	38	1.66	31	24
44	Golden Retriever	w	0.63	26	1.66	33	24
45	Mischling	wk	0.62	28	1.66	35	24
46	Gr. Schw. Sennenhund	wk	0.62	43	1.67	40	24
47	Rottweiler	wk	0.61	45	1.67	45	24
48	Austr. Shepherd	wk	0.61	29	1.69	49	24
49	Mischling	wk	0.60	56	1.69	61	24
50	Mischling	wk	0.59	51	1.70	27	25

51	Labrador Retriever	m	0.56	37	1.73	43	25
52	Bergamasker	m	0.55	50	1.77	51	25
53	Labrador Retriever	mk	0.54	31	1.78	55	25
54	Gordon Setter	m	0.54	41	1.78	58	25
55	Labrador Retriever	w	0.53	40	1.79	59	25
56	Rhod. Ridgeback	wk	0.53	61	1.80	32	26
57	Greyhound	m	0.52	60	1.80	37	26
58	DSH	wk	0.52	42	1.80	41	26
59	Dobermann	wk	0.51	63	1.85	42	26
60	Kuvasz	mk	0.51	58	1.86	44	26
61	DSH	m	0.51	64	1.89	53	26
62	Mischling	wk	0.49	62	1.96	29	28
63	DSH	m	0.48	59	1.97	60	28
64	Golden Retriever	wk	0.48	57	2.05	57	32

Die Abgrenzung der brachycephalen gegenüber anderen Hunden wurde in enger Anlehnung an den Klassifizierungsmodus nach Brehm et al (1985) vorgenommen. Nach Brehm et al. (1985) liegt die untere Grenze des LB2-Index (entspricht unserem LB-Index) der Mesocephalen bei 1.44; Grenzwerte für die Brachycephalen sind nicht angegeben.

Bei der Festlegung des Grenzwertes für die brachycephalen Hunde bei einem S-Index von ≥ 0.8 entfielen gemäss LB-Methode nach Brehm et al. (1985) nur je 2 Hunde in die jeweils falsche Gruppe. Alle anderen geprüften Grenzwerte ergaben eine höhere Anzahl falsch eingeteilter Hunde.

Die drei verschiedenen Indizes ergaben folgende Zahlen an phänotypisch nicht korrekt eingeteilten Hunden: S-Index (brachycephal ab 0.8) 2 Hunde (Nr. 19, 25); LB-Index (Indexgrenze 1.44) 3 Hunde (Nr. 10, 17, 21) und KFW nach Regondon et al. (1993) (brachycephal $<20^\circ$) 16 Hunde (Nr. 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25, 52, 54).

4.4 DISKUSSION

Die Ausmessung der verschiedenen Längen in den Röntgenbildern war problemlos. Die anatomischen Orientierungspunkte waren in allen Bildern gut erkennbar, und daraus liessen sich die Indizes als objektive Schädelmerkmale berechnen.

Bei Gruppierung der Werte nach abnehmendem Brachycephaliegrad (Tab.1) fiel auf, dass der S-Index und der LB-Index gut übereinstimmten. Von den 24 Hunden, die gemäss S-Index am kurzköpfigsten ausfielen ($S\text{-Index} \geq 0.8$), waren 22 auch gemäss LB-Index bei den Kurzköpfigsten. Sowohl die Gesamtschädellänge wie die Gesamtschädelbreite liessen sich am anatomischen Präparat wie im Röntgenbild präzise bestimmen. Die durch die Röntgentechnik verursachte Vergrößerung dürfte kaum ins Gewicht fallen, denn die vier Punkte, welche die Gesamtschädellänge und die Gesamtschädelbreite begrenzen, hatten ungefähr den gleichen Abstand vom Röntgenfilm. Der Vergrößerungseffekt der beiden Längen im Bild war deshalb ähnlich und entfiel durch die Quotientenbildung bei der Berechnung der Indizes.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der LB-Index mit dem LB2-Index nach Brehm et al. (1985) identisch war und die Klassifikation gemäss S-Index und LB-Index gut übereinstimmte. Daraus lässt sich ableiten, dass es einen unwesentlichen Unterschied macht, ob als Trennlinie für die Abgrenzung des Gesichtsschädels vom Hirnschädel die kaudale Begrenzung des Os nasale (Schädelpräparat) oder die rostrale Begrenzung des Cavum cranii (Röntgenbild) gewählt wird. Diese Aussage wird auch durch die Resultate der Röntgenbilder der Schädelpräparate gestützt (s. Abb. 3). Der LL2-Index nach Brehm et al. (1985) fiel zwar bei allen Schädeln höher aus als der S-Index. Aber das Verhältnis S-Index/LL2-Index war mit 1.6 bis 2.2 relativ konstant. Auch die Rangierung der Schädel nach zunehmender Kurzköpfigkeit stimmte in den beiden Beurteilungsmethoden überein. Aus den Resultaten liess sich keine Tendenz feststellen, dass das Verhältnis mit zunehmender Kurzköpfigkeit grösser oder kleiner würde. Ausgerechnet bei den zwei extremen Schädeltypen Barsoi und Pekinese waren die Indexverhältnisse am grössten.

Die Trennung zwischen brachy- und normocephalen Hunden bei einem S-Index von 0.8 trägt den realen Verhältnissen Rechnung. Hunde mit den S-Indices von 0.8 aufwärts würde man auch ohne Messdaten, allein aufgrund ihres Phänotypus zu den Brachycephalen zählen. In diese Gruppe

fallen Mops, französische Bulldogge, englische Bulldogge, Cavalier King Charles Spaniel, Norwich Terrier, Boxer, Staffordshire Bullterrier und Bordeaux Dogge, Rassen also bei denen das brachycephale Syndrom verbreitet ist (Koch et al., 2003). Umgekehrt würde man die Rassevertreter mit S-Index unter 0.8 wie z.B. Beagles, Retriever, Collies und Schäferhunde spontan zu den meso-oder dolichocephalen Typen zählen, und bei diesen ist das brachycephale Syndrom nicht beschrieben.

Obwohl die brachycephalen Hunde im S-Index und im LB-Index weitgehend identisch waren, erschienen individuelle Hunde in den beiden Indexlisten auf unterschiedlichem Niveau. Diese Tatsache war in der vorliegenden Studie nicht von Bedeutung, weil lediglich die klare Abgrenzung der Brachycephalen gegenüber den Normocephalen (Meso- und Dolichocephalen) von Interesse war.

Der S-Index hat nicht nur den Vorteil, dass er an Patienten bestimmt werden kann, sondern er widerspiegelt auch die realen Verhältnisse besser als der LL2-Index. Das Os ethmoidale als kaudale Begrenzung des Cavum nasii liegt dem Cavum cranii direkt an und wird im S-Index wegen seiner Schräglage zwar nicht total, aber zumindest zum grossen Teil in die Gesichtsschädellänge mit einbezogen. Wird jedoch gemäss LL2-Index nach Brehm et al. (1985) die kaudale Begrenzung des Os nasale als Grenze zwischen Hirn- und Gesichtsschädel herangezogen, so liegt der kaudale Nasenhöhlenbereich noch weitgehend innerhalb der Hirnkapsellänge. Der S-Index hingegen reflektiert direkt die relative Nasenlänge, und dieses Kriterium ist zur Beurteilung des Brachycephaliegrades entscheidend. Obwohl dieser relativ gut mit dem LB-Index übereinstimmt, beschreibt Letzterer eher die Form des Gesamtschädels und weniger die relative Nasenlänge.

Die Schädeltypisierung nach Regodon et al. (1993), die anhand von je 10 Vertretern aus 5 Hunderassen erarbeitet wurde, erscheint in unserer Studie lückenhaft. Hunde mit einem kraniofazialen Winkel von 9° bis 14° gelten als brachycephal, solche mit 19° bis 21° als mesocephal und 25° bis 26° als dolichocephal. Appliziert man diese Vorgaben auf die 64 Hunde

dieser Studie, so fallen nur gerade 4 davon in die brachycephale Gruppe, und die Norwich Terrier, bei denen das Winkelspektrum von 18 bis 24 reicht, sind über einen grossen Listenbereich verteilt. Die drei Boxer, die als klassische Vertreter der brachycephalen Hunde gelten, liegen ausgehend von ihren kraniofazialen Winkeln von 16°, 18° und 23° klar ausserhalb des brachycephalen Bereiches, und der Gordon Setter wird sogar als stärker brachycephal eingestuft als die Mehrheit der Norwich Terrier. Der Vergleich mit den klassischen Schädelindizes zeigt, dass sich der kraniofaziale Winkel für die Klassifizierung einer breiten Schädelpalette nicht gut eignet.

Der allgemeine Trend, die rassetypischen Merkmale züchterisch immer stärker hervorzuheben, macht sich auch im Brachycephaliegrad bemerkbar. So wird beispielsweise der Boxer in der Studie von Brehm et al. (1985) noch bei den Dolichocephalen aufgelistet. Diese Studie umfasste 14 Boxerschädel von Tieren, welche vor mindestens 20 Jahren den Tod fanden. In der vorliegenden Studie dagegen werden die drei Boxer als brachycephal eingestuft, was sich mit der allgemein akzeptierten Einteilung deckt. Die von uns untersuchte Englische Bulldogge steht in Bezug auf ihren Brachycephaliegrad mit einem S-Index von 1.98 an dritter Stelle. Das Alter des Schädelpräparates der englischen Bulldogge aus der anatomischen Sammlung des Tierspitals Zürich ist zwar nicht genau bekannt, dürfte aber mindestens 30 Jahre betragen. Dieser Schädel weist einen S-Index von lediglich 0.72 auf und käme in der Liste der eigenen Hundegruppe zwischen einen Labrador und einen Golden Retriever zu liegen. Auch mit seinem LL2-Index von 1.18 wäre dieser Schädel nach Brehm et al. (1985) bei den Mesocephalen einzuordnen. Diese Befunde weisen darauf hin, dass die Boxer und die Englischen Bulldoggen in den vergangenen Jahrzehnten deutlichen Kopfveränderungen in Richtung Brachycephalie erfahren haben.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass sich der S-Index für die Klassifizierung der Schädeltypen lebender Hunde zur Abgrenzung der Brachycephalen sehr ähnlich verhält wie der LL2 Index nach Brehm et al. (1985), der an Schädelpräparaten erhoben wurde. Allerdings dürfte der S-

Index genauer sein, weil im Röntgenbild die rostrale Begrenzung des Cavum cranii gut sichtbar ist und deshalb die Ausdehnung des anschließenden Nasenbereiches exakter festgestellt werden kann. Am Schädelpräparat dagegen ist die rostrale Begrenzung des Cavum cranii nicht sichtbar. Deshalb sind die Anatomen auf die kaudale Begrenzung des Os nasale ausgewichen, was die realen Verhältnisse weniger präzise reflektiert. Der KFW hingegen ist nicht zuverlässig genug, um die Schädelformen in brachycephale und normocephale einzuordnen.

5 Teil B:

Rhinomanometrische Parameter bei gesunden Hunden mit unterschiedlichem Brachycephaliegrad

5.1 EINLEITUNG

Die Rhinomanometrie misst den nasalen Strömungswiderstand, der bei der Atmung durch die Nase entsteht (Gehring et al., 2000; Silkoff et al., 1999). Dabei handelt es sich um eine Untersuchungsmethode, die seit Jahren in der humanen Rhinolaryngologie Anwendung findet und hauptsächlich in der Diagnostik von Pathologien der Nasengänge eingesetzt wird (Cuddihy und Eccles, 2003; Gehring et al., 2000).

In der Veterinärmedizin wurde die Rhinomanometrie bisher nicht angewendet. Es ist aber anzunehmen, dass sich die Messmethode auch für den Hund eignet, diente diese Spezies doch in vielen Studien als Modell für die Etablierung der Methode (Amis et al., 1996; Grutzenmacher et al., 2003; Haavisto, Sipila und Suonpaa, 1998; Hagemann, Bauer und Costabel, 2002; Ohnishi und Ogura, 1969).

Es wird spekuliert, dass ein erhöhter Nasenwiderstand die Ursache des brachycephalen Syndroms (BS) beim Hund ist (Amis und Kurpershoek, 1986; Koch et al., 2003; Hendricks, 1992). Zur Überprüfung dieser Hypothese scheint die Rhinomanometrie optimal geeignet zu sein, weil sich damit der Nasenwiderstand objektiv erfassen lässt. Kürzlich wurde an einer Gruppe von Beaglehunden belegt, dass die Untersuchungsmethode im Kurz- wie im Langzeitversuch reproduzierbare Resultate lieferte (Nad, 2004).

Die vorliegende Studie basiert auf der Hypothese, dass dem BS ein erhöhter Nasenwiderstand zugrunde liegt. Falls die Hypothese richtig ist dürfte man annehmen, dass auch bei gesunden Hunden der Nasenwiderstand bei brachycephalen Hunden höher ausfällt als bei

normocephalen Hunden. Die Prüfung dieser Annahme war das Ziel der vorliegenden Untersuchung.

5.2 TIERE, MATERIAL UND METHODE

5.2.1 Tiere

Zur Verfügung standen die Hunde aus Teil A. Sie stammten aus dem Patientengut der Klinik der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich und waren für einen geplanten chirurgischen Eingriff eingewiesen worden (v.a. Kastrationen) oder eine Allgemeinanästhesie war für die Durchführung einer speziellen Untersuchung (z.B. Röntgenkontraststudien bei harninkontinenten Hündinnen) geplant. Alle Hunde waren entweder vollständig gesund oder wiesen ein gesundheitliches Problem auf, das ausserhalb des Atmungstraktes lokalisiert war. Aufgrund der Anamnese litt keiner der Hunde an einer schwerwiegenden Erkrankung und mit der Allgemeinuntersuchung wurde eine Atemwegspathologie ausgeschlossen.

Bei allen 64 Hunden wurden spontane Atmungskurven aufgezeichnet und eine rhinomanometrische Untersuchung durchgeführt, bevor ihre Schädel geröntgt wurden.

5.2.2 Vorbereitung der Hunde und Aufzeichnung der spontanen Atmungskurve

Die Patienten wurden mit Buprenorphin (Temgesic®, Essex Chemie AG, Luzern, 0.007 mg/kg KG) und Acepromazin (Prequillan®, FATRO s.p.a., Ozzano Emilia, 0.03 mg/kg KG), aufgezogen in eine Mischspritze, intramuskulär sediert. In stehender Position wurde ihnen eine Narkosemaske (Hundenarkosemaske, Provet AG, Gewerbestr. 1, 3421 Lyssach CH) über die Schnauze gestülpt. Nach kurzer Angewöhnungszeit vergewisserte sich der Untersucher, dass die Maske der Schnauze dicht aufsass, bevor während mindestens einer Minute die spontane Atmungskurve mittels des

Spirometers (s. 5.2.3) aufgezeichnet wurde. Danach wurde die Narkose mit Propofol (Propofol-®Lipuro 1%, Braun Medical AG, Emmenbrücke, 4 mg/kg KG iv) eingeleitet und nach endotrachealer Intubation mit einem Lachgas-Sauerstoffgemisch im Verhältnis 3:2 unter Beimengung von 1-2 % Halothan aufrechterhalten.

5.2.3 Rhinomanometrie

Die intubierten Tiere wurden in Rückenlage, in einer Schaumstoffrinne, auf dem Tisch gelagert. Eine Atmungsmaske (Hundenarkosemaske, Provet AG, Lyssach CH) wurde ihnen über den Oberkiefer gestülpt, so dass der Dichtungsring dorsal über das Os nasale und im ventralen Bereich hinter die oberen Eckzähne zu liegen kam. Der Spalt zwischen Dichtungsring der Maske und dem konkaven, harten Gaumen wurde mit Teigmasse (Mischung aus Mehl und Wasser) abgedichtet.

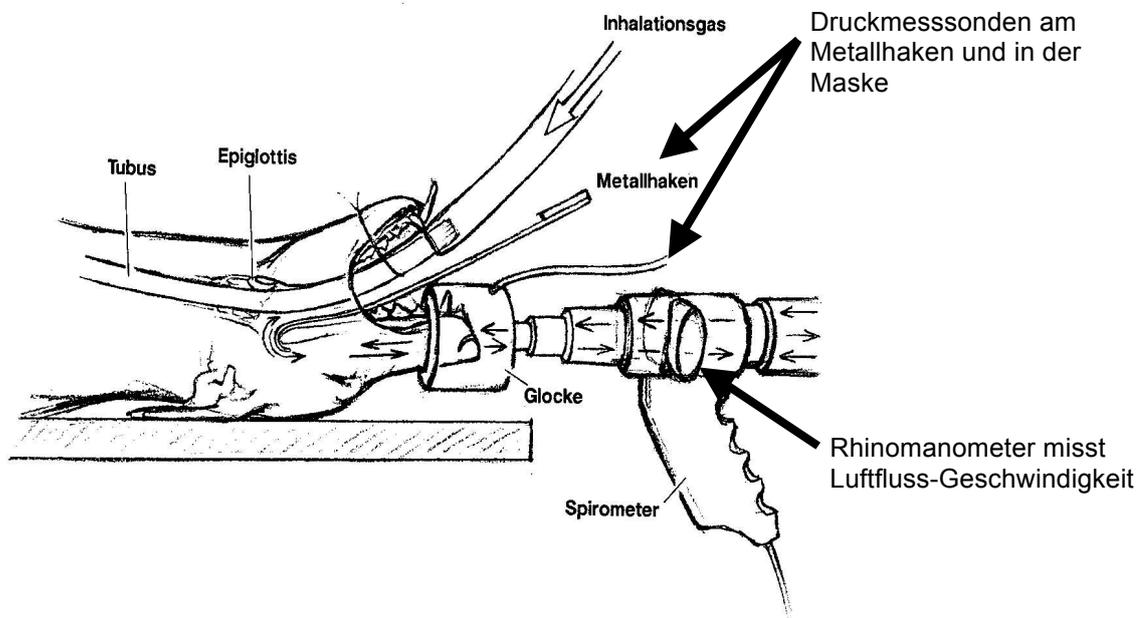


Abb. 1
Versuchsanordnung (Zeichnung M. Haab, 2004)

Ein Spirometer (Exhalyzer®D, Eco Medics AG, Bubikonerstr. 45, 8635 Duerten, CH) wurde auf die Maske gesetzt und ein künstlich erzeugter Strom von gefilterter Luft wurde eingeblasen. Mit einem Metallhaken wurde das Gaumensegel leicht nach rostral gezogen, um im Nasopharynx das Entweichen der Luft nicht zu behindern. Durch manuelles Öffnen eines Ventils wurde die Nase mit langsam anschwellendem Luftstrom mit maximal 0.5 l/s resp. bis zu einer maximalen transnasalen Druckdifferenz von ca. 12 mbar durchströmt, danach wurde das Ventil langsam wieder zuge dreht.

Der durch den Luftstrom aufgebaute transnasale Differenzdruck wurde mittels eines Druckmessgerätes (Eigenbau Pferdeklinik Uni Zürich, CH), basierend auf einer Differenzdruck-Messzelle (Typ 163PC01D36, ± 12.5 mbar, Honeywell, Morristown, NJ, USA) gemessen. Ein Druckeingang mass den Innendruck der Nasenmaske während der zweite, der am Metallhaken fixiert war, den Druck im Nasopharynx erfasste.

Anschliessend wurde die Messung mit umgekehrter Luftströmungsrichtung (Ansaugen von Luft aus der Atmungs maske bzw. Nase) wiederholt. Die Daten beider Luftströmungsrichtungen entsprachen einem Messzyklus, wobei der erste Teil im folgenden mit Inspiration (in), der zweite Teil mit Expiration (out) bezeichnet wird. Bei jedem Hund wurden drei Messzyklen registriert. Vor jeder Messung wurde der Druck im Nasopharynx kontrolliert und mit der Messung erst begonnen, wenn die Abweichung vom Atmosphärendruck weniger als ± 0.1 mbar betrug.

Der Luftfluss (flow) und der transnasale Druck (P) wurde mit dem Computerprogramm (Spiroware®, Eco Medics AG, Bubikonerstr. 45, 8635 Duerten, CH) registriert und graphisch dargestellt.

5.2.4 Radiologische Untersuchung

Im Anschluss an die rhinomanometrische Untersuchung wurden von allen Hunden Röntgenbilder des Schädels im dorsovetralen und laterolateralen Strahlengang angefertigt und der Schädel-Index S bestimmt, der sich aus der Hirnkapsellänge dividiert durch die Gesichtsschädellänge ergibt (s. Teil A). Auf der Basis dieses Index wurden die Hunde in zwei Gruppen eingeteilt: Brachycephale Hunde mit einem Index ≥ 0.8 sowie normocephale (meso- und dolichocephale) Hunde mit einem Index von < 0.8 (s. Teil A).

5.2.5 Berechnung der individuellen physikalischen Nasenparameter

Die Druck-flow-Relation wurde mittels potentieller Approximation für jede Messung und beide Luftflussrichtungen in eine mathematische Beschreibung der Form

$$(1) \quad P = q_0 \cdot \text{flow}^{x_0}$$

überführt, wobei q_0 der Widerstandsbeiwert und x_0 der Anstiegsfaktor ist. Der Faktor ist $x_0=1$ für laminare Strömung und geht gegen $x_0=2$ für zunehmend turbulente Strömung.

Um die spirometrischen Daten der unterschiedlich grossen Hunde vergleichbar zu machen, wurde für jeden Hund ein individueller, auf sein metabolisches Körpergewicht ($=\text{KG}^{0.75}$) angepasster Maximalflow in Ruhe berechnet. Der mittlere O_2 -Bedarf eines Hundes beträgt $0.014 \times \text{KG}^{0.75}$ l/min. (Gros, 2000). Bei einem mittleren Unterschied der O_2 -Konzentration zwischen Ein- und Ausatemluft von 4 % resultiert somit ein mittlerer Atemluftbedarf von $0.35 \times \text{KG}^{0.75}$ l/min. Unter der Annahme einer sinusförmigen Atmungskurve ergibt sich für die Einatmung (= 50% eines Atmungszyklus) ein theoretischer metabolischer Luftflussspitzenwert (flow_{met}) von:

$$(2) \quad \text{flow}_{\text{met}} = \sqrt{2} \times 0.012 \times \text{KG}^{0.75} = 0.018 \times \text{KG}^{0.75} \text{ (l/s)}$$

Der transnasale Druckunterschied P_{met} beim Spitzenwert des metabolischen flows (flow_{met}) errechnet sich aus Gleichung 2:

$$(3) P_{\text{met}} = q_o \times \text{flow}_{\text{met}} \times \rho$$

Der zugehörige maximale Nasenwiderstand (Q_{met}) ist

$$(4) Q_{\text{met}} = P_{\text{met}} / \text{flow}_{\text{met}}$$

Im folgenden Text sind mit Q und P stets die auf den metabolischen Luftfluss bezogenen Werte Q_{met} resp. P_{met} gemeint.

5.2.6 Auswertung der Messdaten und Statistik

Für die brachycephalen ($S\text{-Index} \geq 0.8$) und normocephalen ($S\text{-Index} < 0.8$) Hunde wurden die Messwerte Körpergewicht, flow_{met} , P_{met} und Q_{met} bestimmt sowie deskriptive statistische Parameter ermittelt.

Da die Werte nicht normal verteilt waren, wurden sie für die weitere Analyse der Daten logarithmiert. Die jeweiligen logarithmierten Werte von Inspiration und Expiration wurden wie folgt auf Übereinstimmung geprüft: 1) unter Anwendung des Student t-Tests zwischen der normo- und brachycephalen Hundegruppe; 2) mittels paarweisem t-Test innerhalb der normocephalen Gruppe bzw. dem Wilcoxon signed rank Test innerhalb der brachycephalen Gruppe.

5.3 RESULTATE

Von den 64 untersuchten Hunden wurden 24 als brachycephal ($S\text{-Index} \geq 0.8$) und 40 als normocephal ($S\text{-Index} < 0.8$) beurteilt (Tab. 1).

Die Analyse der spontanen Atmungskurven ergab eine lineare Beziehung ($R^2 = 0.8$, $p < 0.001$) zwischen dem metabolischen Körpergewicht und dem maximalen Luftfluss (Abb. 2).

Zwischen Körpergewicht und Nasenwiderstand Q bestand eine scheinbare Abhängigkeit (Abb. 4). Die Mehrzahl der brachycephalen Hunde wiesen ein Körpergewicht von < 10 kg auf.

Die individuellen inspiratorischen Nasendruck- und Widerstandswerte (P_{in} und Q_{in}) gehen aus Abb. 3 bis 6 und Tab. 1 hervor. Die Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen sind in Tab. 2 numerisch zusammengefasst und in Abb. 7 und 8 als Boxplots dargestellt.

Tab.1

Signalement, Schädelindex S, Nasendruck (P) und Nasenwiderstand (Q) von
a) 40 normocephalen und b) 24 brachycephalen Hunden.

a) Normocephale Hunde

Rasse	Alter (Jahre)	KG (kg)	S-index	P_in	P_out	Q_in	Q_out
				mbar		mbar (l/s) ⁻¹	
Golden Retriever	2.5	24.0	0.48	4.94	4.94	25.3	25.3
Dobermann	7.5	30.0	0.48	1.98	2.37	8.6	10.3
DSH	8	32.0	0.48	3.12	3.12	12.9	12.9
Mischling	1.5	23.0	0.49	3.33	3.71	17.6	19.6
DSH	3	36.0	0.51	2.20	2.23	8.3	8.4
Kuvasz	7	53.0	0.51	3.00	2.75	8.5	7.8
DSH	6	32.0	0.52	2.76	3.02	11.4	12.5
Greyhound	7	34.5	0.52	3.51	3.22	13.7	12.6
Rhod. Ridgeback	8	32.0	0.53	3.82	4.16	15.8	17.2
Labrador	1.5	25.0	0.53	1.68	1.88	8.4	9.4
Gordon Setter	4.5	35.0	0.54	1.47	1.48	5.7	5.7
Labrador	13	26.0	0.54	3.68	4.16	17.8	20.1
Bergamasker	12	29.0	0.55	3.22	3.20	14.3	14.2
Labrador	3	26.5	0.56	5.47	6.29	26.0	29.9
Mischling	8	28.0	0.59	4.18	4.31	19.1	19.7
Mischling	4	27.0	0.60	2.48	2.40	11.6	11.2
Austr. Sheperd	1	19.0	0.61	1.51	1.55	9.2	9.5
Rottweiler	7	40.0	0.61	5.47	6.03	19.1	21.1
gr. CH-Sennenhund	4	41.0	0.62	2.08	2.15	7.1	7.4
Mischling	9	12.8	0.62	0.97	1.10	8.0	9.0
Golden Retriever	3	31.0	0.63	1.52	1.50	6.4	6.4
Beagle	0.5	9.0	0.64	1.42	1.56	15.2	16.7
Beagle	9.5	14.5	0.65	1.71	1.91	12.8	14.3
Beagle	11	13.0	0.65	1.27	1.34	10.3	10.9
Beagle	1	8.9	0.66	1.34	1.40	14.5	15.1
Dalmatiner	1.5	35.0	0.68	2.59	2.51	10.0	9.7
Mischling	2	20.0	0.68	0.56	0.63	3.3	3.7
Bearded Collie	11	26.0	0.70	6.68	7.68	32.2	37.1
Lagotto	2	11.0	0.70	1.71	1.87	15.7	17.2
Retriever	3.5	38.0	0.71	2.30	2.06	8.4	7.5
Eurasier	1	20.0	0.72	1.23	1.24	7.2	7.3
Labrador	2	26.0	0.73	4.61	4.80	22.2	23.2
Beagle	9	15.0	0.74	2.04	2.12	14.8	15.5
Beagle	1.5	8.5	0.76	1.44	1.33	16.1	14.9
Beagle	1.5	8.3	0.76	1.61	1.80	18.3	20.5
Jack Russel	9	6.7	0.76	5.59	6.14	74.5	81.9
Beagle	8.5	15.0	0.77	3.18	3.29	23.2	24.0
Beagle	1	8.2	0.77	1.03	1.13	11.8	12.9
Mischling	2	14.0	0.77	0.86	0.89	6.6	6.8
Norwich Terrier	5	8.5	0.79	2.74	2.93	30.6	32.7
Mittelwert	5	23.6	0.63	2.66	2.81	15.6	16.5
Minumum	0.5	6.7	0.48	0.56	0.63	3.3	3.7
Maximum	13	53.0	0.79	6.68	7.68	74.5	81.9

b) Brachycephale Hunde

Rasse	Alter	KG	S-index	P_in	P_out	Q_in	Q_out
	(Jahre)			(kg)	mbar		mbar x (l/s) ⁻¹
Mischling	8	9.4	0.80	2.24	2.32	23.2	24.0
Bordeaux Dogge	1	40.0	0.80	5.35	4.65	18.7	16.2
Staff. Bullterrier	7.5	26.5	0.83	6.35	7.80	30.2	37.1
Boxer	5	31.5	0.90	3.51	3.64	14.6	15.2
Norwich Terrier	4	6.5	0.92	4.82	4.69	65.8	64.0
Boxer	2.5	23.0	0.93	12.87	45.70	68.1	241.7
Norwich Terrier	1.5	5.6	0.97	1.61	1.67	24.5	25.6
Norwich Terrier	2	6.2	0.98	2.64	2.83	37.3	40.0
Norwich Terrier	2.5	6.8	1.00	4.46	4.92	58.9	65.0
Border Terrier	0.5	7.1	1.00	7.34	8.12	93.8	103.7
Boxer	7.5	38.0	1.04	15.55	24.16	56.5	87.7
Norwich Terrier	4	8.8	1.08	1.41	1.58	15.4	17.2
Norwich Terrier	3	8.2	1.08	5.02	8.29	57.6	95.0
Norwich Terrier	6.5	7.6	1.08	5.63	6.45	68.3	78.3
Norwich Terrier	7	5.5	1.12	3.38	3.60	52.4	55.7
Norwich Terrier	2	5.5	1.13	8.43	9.15	130.4	141.5
Norwich Terrier	5.5	6.6	1.19	5.93	5.20	80.1	70.2
Norwich Terrier	5	6.6	1.21	1.85	2.09	24.9	28.2
Norwich Terrier	4	6.2	1.25	2.89	3.01	40.8	42.6
Norwich Terrier	1	4.7	1.32	7.73	9.39	134.6	163.4
King Charles Sp.	8	6.6	1.92	4.63	3.51	62.5	47.4
Engl. Bulldogge	6.5	23.0	1.98	4.78	4.73	25.3	25.0
Franz. Bulldogge	3	10.0	2.85	8.75	16.04	86.5	158.4
Mops	2.5	8.7	6.08	4.76	4.77	52.2	52.3
Mittelwert	4	12.9	1.21	4.75	6.53	47.9	59.9
Minumum	0.5	4.7	0.80	1.41	1.58	14.6	15.2
Maximum	8	40.0	6.08	15.55	45.70	134.6	241.7

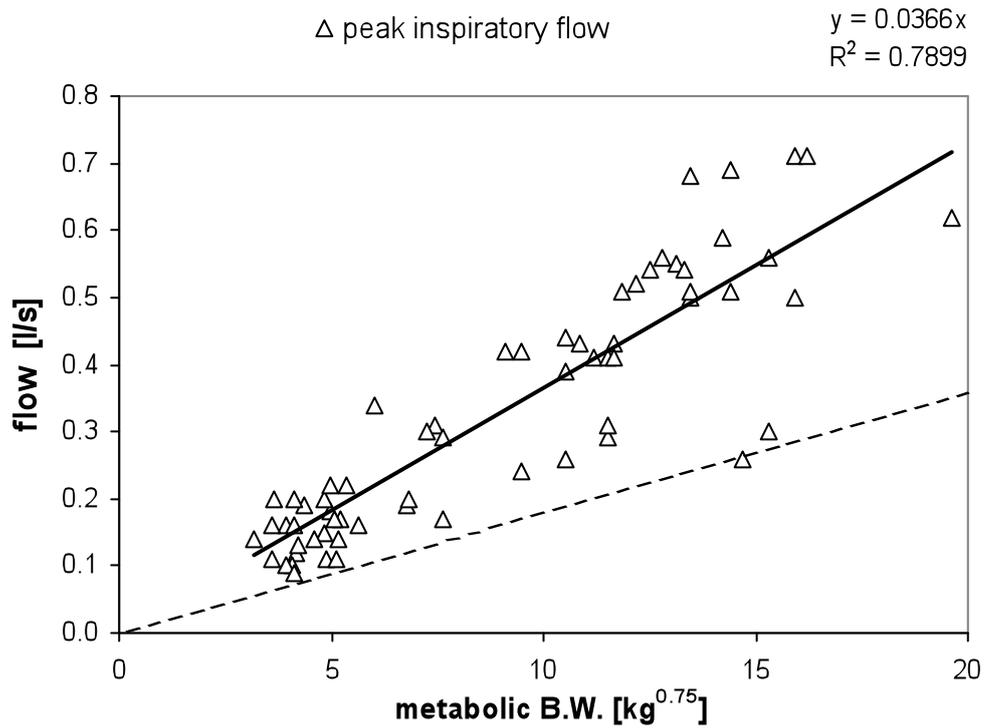


Abb. 2

Beziehung zwischen dem metabolischen Körpergewicht und dem maximalen Luftfluss der beobachteten Spontanatmung bei 64 Hunden mit der zugehörigen Regressionsgeraden (—) sowie der theoretische Zusammenhang (----) zwischen metabolischem Körpergewicht und erforderlichlichem Luftstrom in Ruhe (gemäss Formel 2).

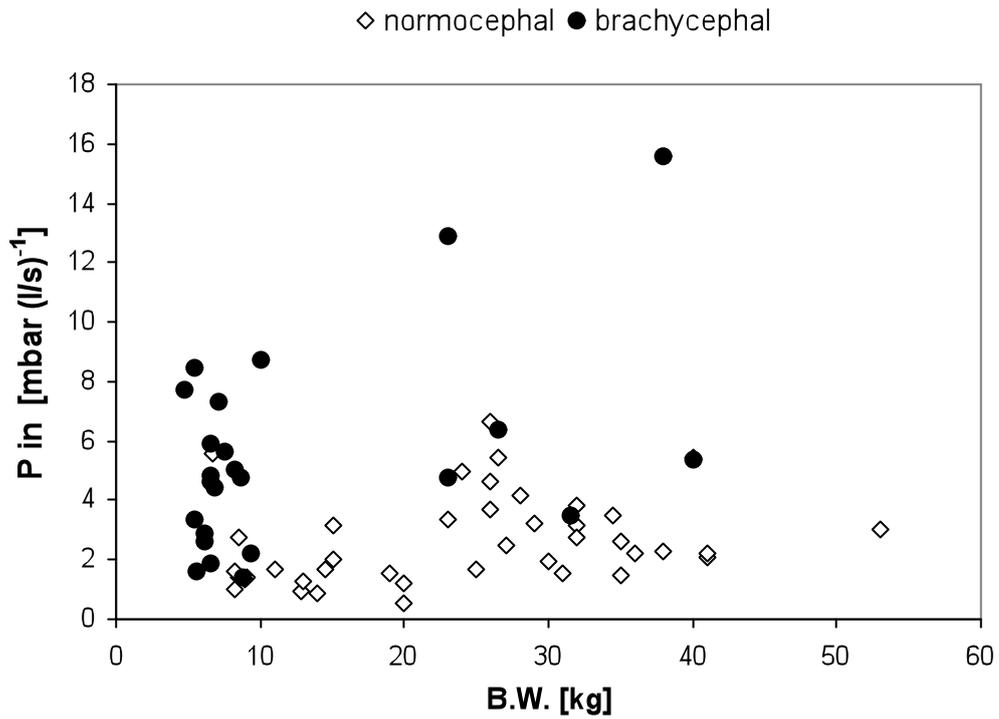


Abb. 3

Beziehung zwischen dem Nasendruck P_{in} und dem Körpergewicht (B.W.) bei einströmender Luft.

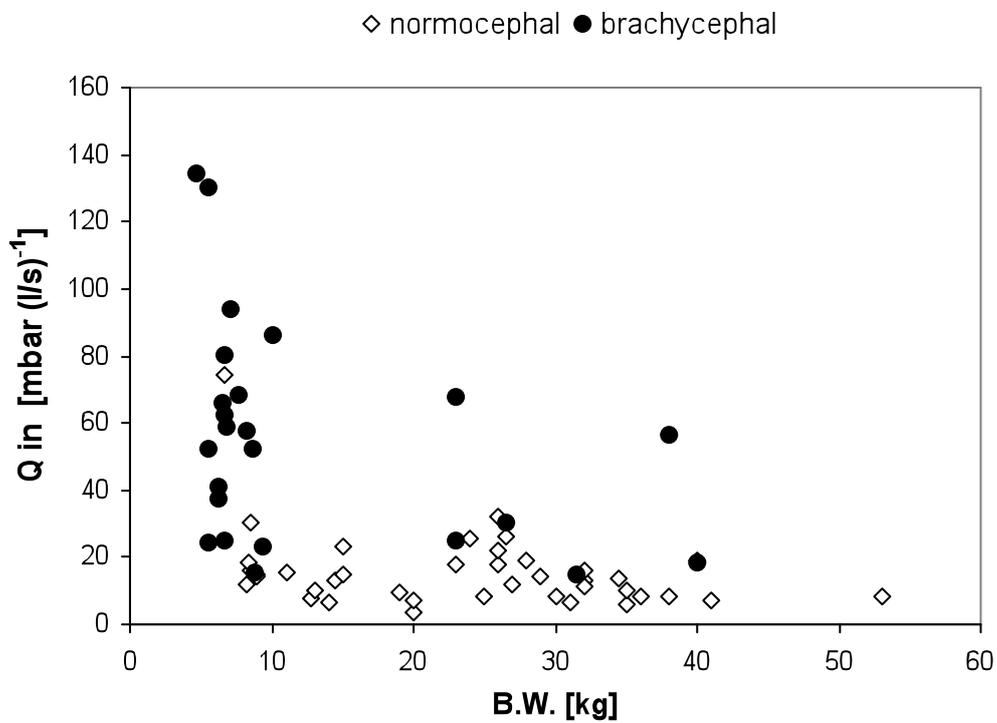


Abb. 4

Beziehung zwischen dem Nasenwiderstand Q_{in} und dem Körpergewicht (B.W.) bei einströmender Luft.

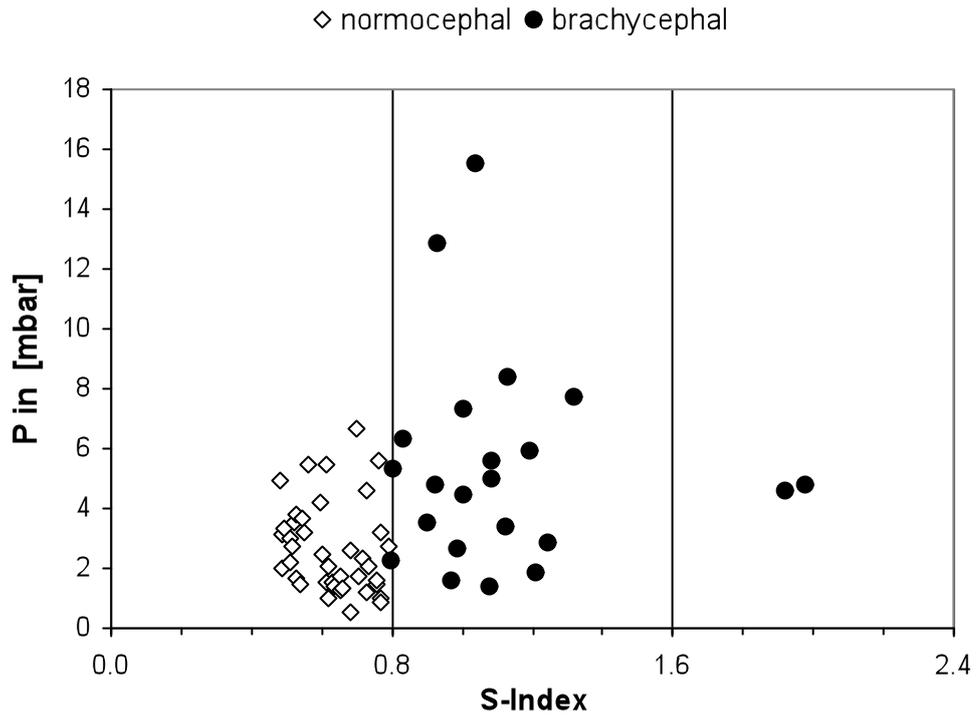


Abb. 5

Beziehung zwischen dem Nasendruck P_{in} und dem Schädelindex bei einströmender Luft. Nicht dargestellt Mops (S-Index 6.08 / P_{in} 4.8), franz. Bulldogge (S-Index 2.85 / P_{in} 8.8).

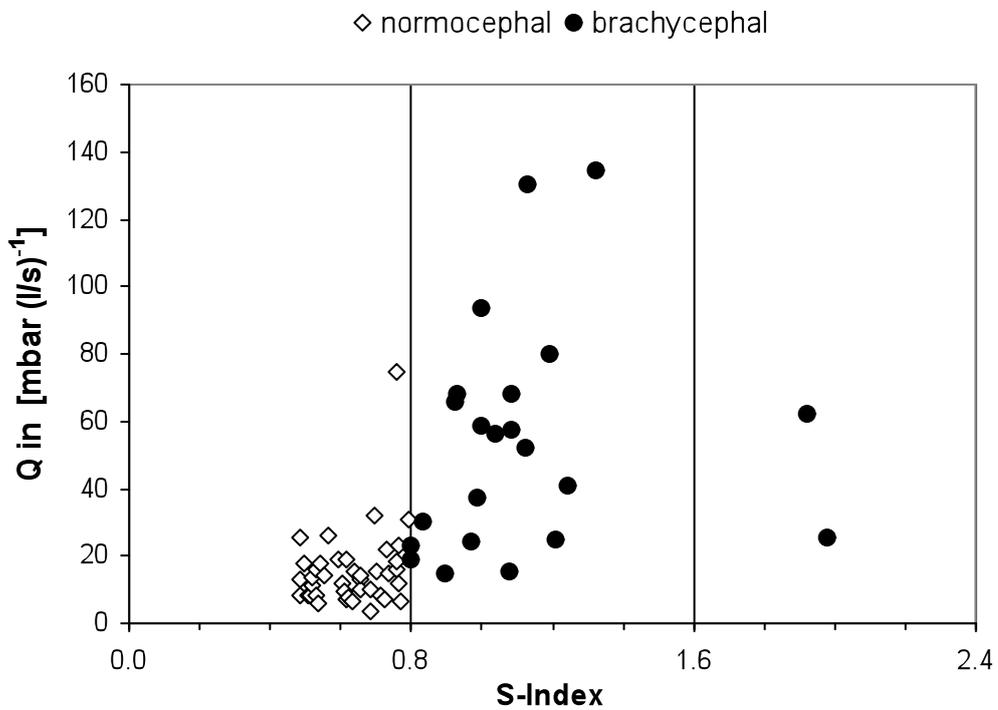


Abb. 6

Beziehung zwischen dem Nasenwiderstand Q_{in} und dem Schädelindex. Nicht dargestellt: Mops (S-Index 6.08 / Q_{in} 52.2), franz. Bulldogge (S-Index 2.85 / Q_{in} 86.5).

Tab. 2

Vergleich der rhinomanometrischen Parameter von brachy- und normocephalen Hunden

Parameter	Einheit	Normocephale	Brachycephale
		(n=40) Mittelwert \pm s	(n=24) Mittelwert \pm s
S-Index	-	0.63 \pm 0.10	1.39 \pm 1.10 d
KG	kg	23.6 \pm 11.3	12.9 \pm 11.0 a
flow_{met.}	l/s	0.19 \pm 0.07	0.12 \pm 0.07 a
P_{in}	mbar	2.66 \pm 1.50	5.50 \pm 3.41 a
P_{out}	mbar	2.81 \pm 1.67 b	7.85 \pm 9.49 a, c
Q_{in}	mbar (l/s) ⁻¹	15.6 \pm 11.7	55.1 \pm 33.0 a
Q_{out}	mbar (l/s) ⁻¹	16.6 \pm 13.0 b	70.7 \pm 56.6 a, c

a: Signifikante Differenz (t-Test) zwischen den Normo- und den Brachycephalen.

b: Signifikante Differenz (paarweiser t-Test) zwischen in- und expiratorischen Werten.

c: Signifikante Differenz (Wilcoxon signed rank test) zwischen in- und expiratorischen Werten.

d: Signifikante Differenz (Mann-Whitney Rangsummentest) zwischen den Normo- und den Brachycephalen.

Sowohl bei der In- wie bei der Expiration waren die mittleren Nasenwiderstände Q und der transnasale Druck P der brachycephalen Hunde signifikant ($p < 0.001$) höher als die in der normocephalen Gruppe. Innerhalb beider Hundegruppen waren P_{out} ($p < 0.001$) resp. Q_{out} ($p < 0.006$) signifikant ($p < 0.001$) höher als die entsprechenden inspiratorischen Werte.

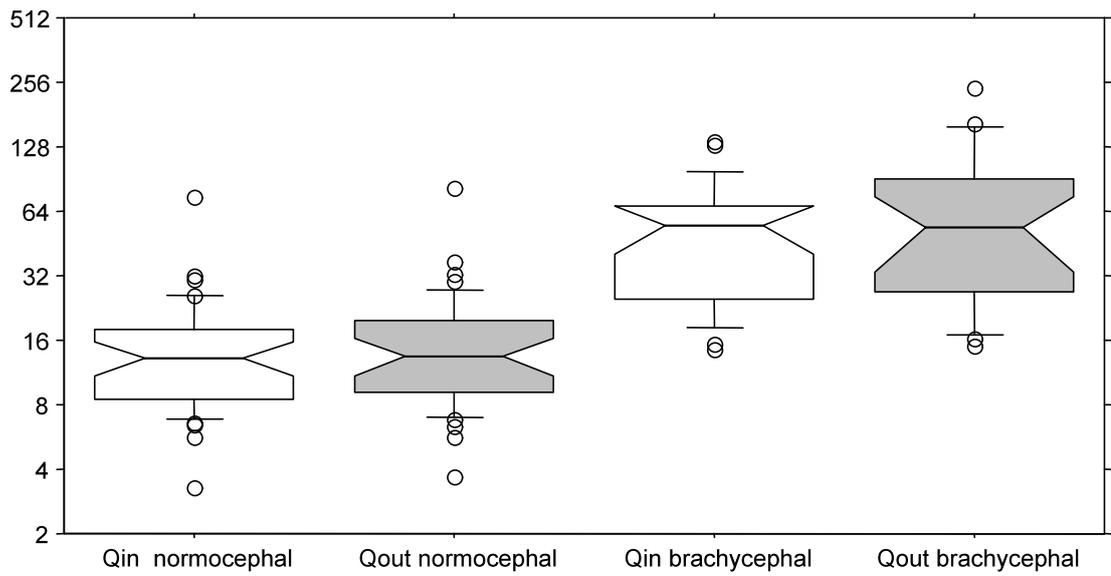


Abb. 7

Nach Gruppen geordnete Box Plots der Nasenwiderstände Q [mbar (l/s)⁻¹] auf logarithmischer Skala jeweils für einströmende (in) und ausströmende (out) Luft dargestellt.

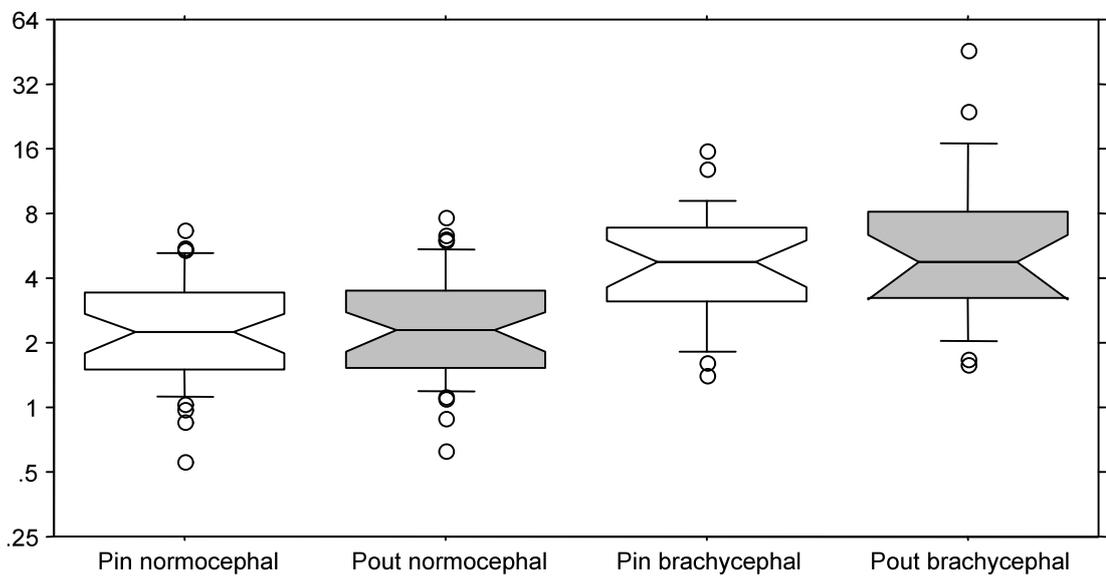


Abb. 8

Nach Gruppen geordnete Box Plots der transnasalen Druckdifferenz P [mbar] auf logarithmischer Skala jeweils für einströmende (in) und ausströmende (out) Luft dargestellt.

5.4 DISKUSSION

Der gesamte Atmungswiderstand ist die Summe der partiellen Widerstände der einzelnen anatomischen Abschnitte. Eine Studie bei Hunden hat gezeigt, dass der Widerstand im Bereich der Nase eindeutig am grössten ist und in Abhängigkeit vom Luftfluss 69 bis 83 % des gesamten Atmungswiderstandes ausmacht (Ohnishi und Ogura, 1969; Ohnishi et al., 1971). Man könnte sich vorstellen, dass bei den brachycephalen Hunden durch Veränderung der Strömungsverhältnisse in der beschränkt ausgebildeten Nase der Widerstand zusätzlich erhöht wäre und bei Überschreiten eines kritischen Grenzwertes zum BS führen könnte.

Zur Messung des Nasenwiderstandes beim Menschen hat sich die Rhinomanometrie bewährt (Silkoff et al., 1999). Eine Studie hat gezeigt, dass die Messmethode auch beim Hund reproduzierbare Resultate liefert (Nad, 2004).

Aus der Strömungsmechanik (Eck, 1974) kann abgeleitet werden, dass sich der Strömungswiderstand einer Nase (unter Annahme einer laminaren Strömung) etwa proportional $Q \sim L_n/D_n^4$ ändert (L_n =Nasenlänge, D_n =Nasendurchmesser). Vereinfacht wird dabei die Nase als Strömungstubus mit konstantem Querschnitt betrachtet. Aus allometrischen Betrachtungen kann man herleiten, dass ein beliebiger Längenwert, hier die beiden Nasendimensionen (L_n und D_n), in etwa nach dem Zusammenhang $L \sim KG^{1/3}$ skalieren. Dies bedeutet, dass bei unterschiedlichen, aber geometrisch ähnlichen, Körpergrössen der Hunde der Nasendurchmesser resp. die Nasenlänge etwa proportional der dritten Wurzel des Körpergewichts ändert. Es ist daher zu erwarten, dass der Nasenwiderstand $Q \sim L_n/D_n^4 \sim KG^{-1}$ ändert. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 erkennbar. Die simple Aussage dabei ist, dass kleinere Hunde grundsätzlich einen grossen, und grosse Hunde einen kleinen Nasenwiderstand haben.

Erschwerend bei der Beurteilung der Nasenwiderstände von brachy- und normocephalen Hunden wirkt sich die Tatsache aus, dass die Mehrzahl

der brachycephalen Hunde kleiner ist als die Normocephalen (durchschnittliches KG der Brachycephalen: 12.9 kg; durchschnittliches KG der Normocephalen: 23.6 kg).

Der Einfluss des Körpergrösse lässt sich minimieren, wenn man die rhinomanometrischen Daten der Hunde bei einem individuellen, für die Körpergrösse charakteristischen Luftfluss vergleicht. Die Tiere haben zwingend ihren Körper mit Sauerstoff zu versorgen. Der dazu minimal notwendige metabolische Sauerstoff- respektive Luftfluss $flow_{met}$ ($flow_{met} = 0.018 \times KG^{3/4}$ l/s, Gleichung 2) muss gegen deren Nasenwiderstand von den Tieren geatmet werden können. Entsprechend ihren unterschiedlichen Körpergrössen - und den entsprechend unterschiedlichen Nasenwiderständen – ist bei diesem metabolischen Luftfluss der Druckunterschied von $P = Q \times flow_{met}$ erforderlich. Bei geometrisch ähnlichen Hundekörpern sind also die Widerstände mit $Q_{met} \sim KG^{-1}$ cirka umgekehrt proportional den entsprechenden metabolischen Luftflüssen $flow_{met} \sim KG^{3/4}$, wodurch die erforderlichen Druckunterschiede mit $P \sim KG^{-1/4}$ fast unabhängig und von der Körpergrösse werden.

Bei den untersuchten Hunden dieser Studie war die oben angenommene geometrische Ähnlichkeit nicht gegeben, was sich speziell für den Kopf und die Nase in unterschiedlichen S-Indizes ausdrückte (Tab. 2); geometrisch ähnliche Hunde hätten gleiche Indizes. Wir verwendeten den aus der Physiologie bekannten metabolische Luftfluss gemäss der linearen Beziehung $met.flow = 0.018 \times KG^{0.75}$ (Gleichung 2). Ein Vergleich mit dem gemessenen inspiratorische Spitzenwert des Luftflusses (peak inspiratory flow, PIF) der Spontanatmung zeigte, dass die Tiere etwa doppelt so viel Sauerstoff benötigten wie in Ruhe erforderlich wäre (Abb. 2). Obwohl die Werte am sedierten, ruhig stehenden Tier erhoben wurden, dürfte der Stress durch die ungewohnte Umgebung und die Manipulationen den Ruheumsatz gesteigert haben.

Die beim metabolischen Luftfluss zwischen den Hundegruppen beobachteten signifikant unterschiedlichen Druckwerte (Tab. 2) reflektierten somit die unterschiedliche Kopf/Nasen Geometrie und waren

nicht mehr Ausdruck der Hundegrößen. Gut sichtbar ist dies an den Hunden, deren transnasaler Druck über ca. 6 mbar lag (Tab. 1), wo von 7 brachycephalen Hunden 3 weniger als 10 kg und 4 Hunde mehr wogen. Hunde mit einem hohen transnasalen Druck bei Inspiration müssen einen grösseren Unterdruck generieren, um sich adäquat mit Luft versorgen zu können. Auf diesem Hintergrund betrachtet ist es durchaus möglich, dass bei Hunden mit BS der transnasale Druck noch bedeutend höher liegen wird als bei den gesunden Brachycephalen der vorliegenden Studie. Den endgültigen Beweis, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen dem BS und dem transnasalen Druck besteht, kann allerdings nur durch Erhebung von rhinomanometrischen Messdaten an Hunden mit unterschiedlichem Schweregrad des BS oder durch Longitudinalstudien bei Hunden betroffener Rassen erbracht werden.

Unsere Studie zeigt auch, dass die brachycephalen Hunde (Q_{in} : 55.1 ± 33.0 mbar (l/s)⁻¹, Mittelwert \pm s) einen signifikant höheren Nasenwiderstand aufwiesen als die normocephalen Hunde (Q_{in} : 15.5 ± 11.7 mbar (l/s)⁻¹). Wie erwähnt waren die brachycephalen Hunde im Durchschnitt auch bedeutend kleiner als die normocephalen Hunde. Allein auf Grund ihrer kleineren Körpermasse wäre mit $Q \sim KG^{-1}$ allerdings nur ein mittlerer Widerstand von ca. 28.5 mbar (l/s)⁻¹ zu erwarten gewesen. Die mehr als doppelt so hohen Widerstände waren daher auf ihre Nasengeometrie zurückzuführen. Kleine Hunde können sich offenbar einen grösseren Nasenwiderstand „leisten“, weil sie dank geringerem Luftbedarf einen entsprechend kleineren Luftstrom benötigen was, wie oben gezeigt, eine geringere Druckerhöhung über der Nase zur Folge hatte als aus den Widerständen allein vermutet würde.

Bei der spontanen Atmung wird durch Unterdruck im Thorax Luft inspiriert, und bei der Expiration durch Überdruck im Thorax wieder ausgepresst. Gerade umgekehrt sind die Verhältnisse in unserer Versuchsanordnung, wo die Inspiration durch Überdruck und die Expiration durch Unterdruck in der Atmungsmaske simuliert werden. Der dabei entstehende Druckgradient entspricht jedoch demjenigen der

physiologischen Atmung. Auf die Resultate hatte dies keinen Einfluss, jedenfalls liegen die durchschnittlichen Werte der normocephalen Hunde unserer Studie mit P_{in} : 2.7 mbar und Q_{in} : 15.6 mbar (l/s)⁻¹ sehr nahe bei denen einer vergleichbaren Studie mit physiologischer Strömungsrichtung mit P_{in} : 2.5 mbar und Q_{in} : 14 mbar (l/s)⁻¹ (Amis et al., 1996).

Man würde annehmen, dass sich bei der knöchernen Nase mit fest aufsitzender Schleimhaut die Luftflussrichtung nicht auf die beiden Parameter P und Q auswirkt. Entgegen dieser Erwartung zeigt die Studie, dass die Widerstands- und Druckwerte bei der Expiration in beiden Gruppen signifikant höher ausfielen als bei Inspiration. Bei rhinomanometrischen Untersuchungen an einer Gruppe von Beaglehunden wurde das gleiche Phänomen beobachtet (Nad, 2004). Ein methodischer Unterschied zwischen Inspiration und Expiration besteht sicher darin, dass sich der Druck in der Atmungsmaske beim Anfluten von Luft rascher aufbaut als der Unterdruck beim Ansaugen von Luft. Allerdings haben wir keine Erklärung dafür, auf welchem Weg sich dieser Unterschied in höheren expiratorischen P- und Q- Werten auswirken könnte.

Bemerkenswert scheint, dass die Druckwerte bei den meisten brachycephalen Hunden dieser Studie im Bereich der Normocephalen liegen (Abb. 3). Es hat sich gezeigt, dass auch innerhalb der gleichen Rasse erhebliche individuelle Unterschiede im transnasalen Druck bestehen, die z.B. bei den Norwich Terriern bei P_{in} von 1.41 mbar bis 8.43 mbar reichten. Offenbar führt die Verkürzung des Gesichtsschädels nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung des transnasalen Drucks. Eine Selektion von Zuchthunden auf rhinomanometrischer Basis müsste demnach nicht unbedingt mit einer Veränderung des Brachycephaliegrades einhergehen. Ob ein solches Selektionsverfahren zuchtstrategisch sinnvoll ist, kann jedoch erst entschieden werden, wenn der kausale Zusammenhang zwischen dem BS und dem Nasenwiderstand endgültig belegt ist.

6 REFERENZEN

1. Aron DN, Crowe DT. Upper airway obstruction. General principles and selected conditions in the dog and cat. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice* 1985;15(5):891-917.
2. Hendricks JC. Brachycephalic airway syndrome. *Small Animal Practice* 1992;22(5):1145-1152.
3. Amis TC, Kurpershoek C. Pattern of breathing in brachycephalic dogs. *American Journal of Veterinary Research* 1986;47(10):2200-4.
4. Koch DA, Arnold S, Hubler M, Montavon PM. Brachycephalic syndrome in dogs. *Compendium on Continuing Education* 2003;25(1):48-55.
5. Orsher RJ. Brachycephalic airway disease, in *Disease Mechanisms in Small Animal Surgery*, J. Bojrab, Editor, 1993;25-31.
6. Wykes PM. Brachycephalic airway obstructive syndrome. *Probl Vet Med* 1991;3(2):188-197.
7. Harvey CE. Upper airway obstruction surgery 3 : everted laryngeal saccule surgery in brachycephalic dogs. *Journal of American Animal Hospital Association* 1982;18:545-547.
8. Knecht CD. Upper airway obstruction in brachycephalic dogs. *Compendium on Continuing Education* 1979;1:25-30.
9. Ellenberger W, Baum H. *Systematische und topographische Anatomie des Hundes*. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, 1891.

10. Wagner K. *Rezente Hunderasse. Eine osteologische Untersuchung.* Skrifter utgitt av det Norske Videnskaps – Akademi i Oslo, I. Mat.-Naturv. Klasse, No. 9. Verlag Jacob Dybwad, Oslo, 1930.

11. Evans HE, Christensen GC. Axial skeleton. *Miller's anatomy of the dog*, sec. Ed., Philadelphia, London, Toronto: W.B. Saunders Co, 1979;113-121.

12. Brehm H, Loeffler K, Komeyli H. Schädelformen beim Hund. *Zbl. Vet. C. Anat. Histol. Embryol.* 1985;14:324-331.

13. Regodon S, Vivo JM, Franco A, Guillen MT, Robina A. Craniofacial angle in dolicho-, meso- and brachycephalic dogs: radiological determination and application. *Anat Anz* 1993;175(4):361-363.

14. Rosaspina M. Vergleichende Untersuchungen am oberen Respirationstrakt bei Norwich Terriern, brachycephalen Hunden und mesocephalen Hunden. *Inaugural-Dissertation der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich* 2004.

15. Gehring JM, Garlick SR, Wheatley JR, Amis TC. Nasal resistance and flow resistive work of nasal breathing during exercise: effects of a nasal dilator strip *J Appl Physiol.* 2000;89:1114-1122.

16. Silkoff PE, Chakravorty S, Chapnik J, Cole P, Zamel N. Reproducibility of acoustic rhinometry and rhinomanometry in normal subjects. *Am J Rhinol* 1999;13(2):131-135.

17. Cuddihy PJ, Eccles R. The use of nasal spirometry as an objective measure of nasal septal deviation and the effectiveness of septal surgery, *Clin. Otolaryngol.* 2003;28: 325-330.

18. Amis TC, O'Neill N, Van der Touw T, Tully A, Brancatisano A. Supraglottic airway pressure-flow relationships during oronasal airflow partitioning in dogs. *J Appl Physiol*, 1996;81(5):1958-1964.
19. Grutzenmacher S, Mlynski G, Mlynski B, Lang C. Objectivation of nasal swelling, a comparison of four methods. *Laryngorhinootologie*, 2003;82(9):645-649.
20. Haavisto L, Sipila J, Suonpaa J. Nonspecific nasal mucosal reactivity, expressed as changes in nasal airway resistance after bilateral saline provocation. *Am J Rhinol.*, 1998;12(4):275-278.
21. Hagemann H, Bauer PC, Costabel U. Comparability of various measurement methods in nasal provocation with allergens, *Pneumologie*, 2002;56(6):363-368.
22. Ohnishi T, Ogura JH. Partitioning of pulmonary resistance in the dog. *The Laryngoscope*, 1969;5:1847-1878.
23. Nad N. Nasaler Widerstand beim Hund: Reproduzierbarkeit der Rhinomanometrie. *Inaugural-Dissertation der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich* 2004.
24. Gros G, Atmung. In: *Physiologie der Haustiere*, W. von Engelhardt und G. Breves (Hrsg.), Enke Verlag, Stuttgart, 2000;217-253.
25. Ohnishi T, Ogura JH, Nelson JR. Effects of nasal obstruction upon the mechanics of the lung in the dog. *The Laryngoscope*, 1971;2:712-736.
26. Eck B. Strömungslehre; in: *Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau*, Hrsg. F. Sass, Ch. Bouché und A. Leitner. Springer Verlag, Berlin, 1974.

7 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt:

Frau PD Dr. Susi Arnold für die Übernahme des Referate

Herrn Prof. Dr. Andreas Steiger für die Übernahme des Korreferates.

Frau PD Dr. Susi Arnold und Herrn Dr. Daniel Koch für die Überlassung des interessanten Themas, sowie für ihre fachliche Unterstützung und das angenehme und motivierende Arbeitsklima.

Herrn El. Ing. HTL Thomas Wiestner für die kompetente fachliche Unterstützung im Fach Mathematik-Physik, die Konstruktion unserer Messeinrichtungen und die immer freundschaftliche Hilfsbereitschaft für die Lösung jedes technischen Problems.

Herrn Dr. Gernot Scharf für die wertvollen Diskussionen, aus denen sich der hier angewendete Schädelindex ergeben hat.

Allen Mitarbeiterinnen der Abteilung für Kleintierfortpflanzung: Madelaine Hubler, Iris Reichler, Esther Pfeiffer, Lisa Hung, Andrea Barth und aus der Klinik für Kleintierchirurgie: Marisa Rosaspina und Natascha Nad für die Hilfsbereitschaft bei den Untersuchungen und Messungen der Patienten.

Herrn Prof. H. Geyer, der verschiedene Schädelpräparate aus der Anatomischen Sammlung zur Verfügung stellte.

Der Stiftung für das Wohl des Hundes und dem Bundesamt für Veterinärwesen für die Finanzierung des Projektes.

Allen Hundebesitzern und –besitzerinnen, die uns ihre Hunde für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt haben.

Und letztlich meiner Familie und Jolanda, deren liebevolle Unterstützung und Motivation diese Arbeit ermöglicht haben.