



1 Einleitung

In Ermangelung stereotaktischer Atlanten vom Pferd besteht ein Bedarf an Orientierungsmarken („Landmarks“) außen am Kopf, die genutzt werden können, um bei einer diagnostischen oder therapeutischen Maßnahme ein zielgenaues Manöver zu einer neurologischen Struktur innerhalb der Schädelhöhle zu ermöglichen. Dabei kann z.B. relevant sein: (1) Die Lokalisation und Einschätzung von Frakturen im Bereich des Kopfes, insbesondere des Neurocraniums, wie sie bei schweren Traumen entstehen können (FEIGE et al. 2000; MACKAY 2004; FEARY 2007); (2) die Lokalisation eines Zugangs zur Hypophyse des Pferdes zwecks einer etwaigen Therapie des Cushing-Syndroms (PEASE et al. 2011).

Voraussetzung für die Zielgenauigkeit ist die verlässliche Kenntnis der Abstände jener Marken außen am Kopf von den Zielorten innerhalb der Schädelhöhle. Als geeignete Orientierungsmarken kommen vorspringende Strukturen am Kopfskelett („Knochenpunkte“) in Betracht (BRUCKER et al. 2014).

Die Ermittlung solcher Abstände/Messstrecken zwischen extracranialen und intracranialen Knochenpunkten stellt allerdings technisch eine große Herausforderung in der Craniometrie dar, denn:

- (1) Mit herkömmlichen Messinstrumenten (Zirkel, Lineal, Maßband, Messschieber) können ein extracranialer und ein ihm zuzuordnender intracranialer Punkt nicht direkt erreicht werden, ohne dass die zu messende Strecke zwischen diesen Punkten zunächst freigelegt werden müsste.
- (2) Durch die partielle Objektzerstörung werden nachfolgende Messungen anderer Strecken am selben Objekt zunehmend erschwert oder unmöglich gemacht.
- (3) Mehr noch als bei solchen Punkt-zu-Punkt-Messungen (Bestimmung der „direkten“ Entfernung zweier Punkte voneinander) ist mit Ungenauigkeiten zu rechnen, wenn die Abstände der Ebenen (z. B. der Querebenen) gemessen werden sollen, auf denen sich die Punkte befinden („indirekte“ Abstände, die z. B. aussagen, wie weit ein Punkt „vor“ oder „hinter“ dem anderen gelegen ist).



Darum ist es das Ziel dieser Arbeit,

- (i) geeignete sichtbare und/oder tastbare Knochenpunkte außen am Schädel zu bestimmen (extracraniale Knochenpunkte);
- (ii) intracraniale Punkte festzulegen, die eine enge Lagebeziehung zu bestimmten Arealen des Gehirns, zu bestimmten Hirnnerven sowie zu anderen intracranialen Strukturen/Organen (z. B. Hypophyse, Blutleiter) aufweisen;
- (iii) die Abstände zwischen den äußeren und inneren Punkten mit Hilfe eines computer-gestützten 3-dimensionalen Messinstrumentes (Faro[®] Fusion Messarm, Faro Europe, Stuttgart) in den drei Raumrichtungen rostro-caudal, dorso-ventral, latero-lateral zu berechnen;
- (iv) die altersabhängigen Unterschiede hinsichtlich der Lage jener sichtbaren und/oder tastbaren extracranialen Knochenpunkte sowie der intracranialen Punkte zu erfassen.
- (v) die Maße ausgewählter Strecken in Form von Referenzlisten zusammenzustellen; ein Sachregister soll dem Leser die gezielte Suche im Text und das Auffinden bestimmter Strukturen (Points of Interest, POIs, und zugehörige Strecken) erleichtern.

Der Faro[®] Fusion Messarm ist ein tragbares Koordinatenmessgerät (KMG). Er wird im Rahmen der industriellen Fertigung eingesetzt, um die Produktqualität mit Hilfe von 3-D Inspektionen, CAD-Vergleichen, Dimensionsanalysen und Reverse Engineering zu überprüfen und sicherzustellen (ANONYMUS 2015). Aufgrund hoher Beweglichkeit des Faro[®] Fusion Messarms sind auch schwer zugängliche Punkte erreichbar; sie können in eine Lagebeziehung zueinander gesetzt werden und die Abstände zwischen ihnen sind folglich berechenbar. Da – wie bereits angedeutet – mit dem Faro[®] Fusion Messarm Punkte erreichbar sind, die für andere Messgeräte an nicht oder nur schwer erreichbaren Stellen liegen (WREDE 2013) und dadurch womöglich unpräzise erfasst werden, erscheint das Gerät sehr gut geeignet, den genannten Anforderungen bei der Craniometrie zu genügen; bisherige eigene Voruntersuchungen (BRUCKER et al. 2014) unterstützen diese Auffassung.



2 Literaturübersicht

Die Vermessung von Knochen (Osteometrie), insbesondere die von Schädeln (Cranimetrie), des Pferdes hat seit über hundert Jahren in verschiedenen Teilgebieten eine Bedeutung, z. B. in der Archäologie (DRIESCH 1976), in der Archäozoologie (CHROSZCZ et al. 2014) oder in der Tierzucht (KOMOSA et al. 2006), wenngleich die Zahl von Publikationen – insbesondere zum Pferd, und dabei speziell zum Hirnschädel (Neurocranium) – auffällig gering erscheint.

Die kranimetrischen Methoden (d.h. Messungen am Knochenpräparat) unterscheiden sich zum Teil sehr stark. Zunächst fanden zur Vermessung des Pferdeschädels vor allem Messschieber, Zirkel und Lineal Anwendung (LÖFFLER 1919; DRIESCH 1976; KOMOSA et al. 2006). Das Maßband dagegen ist nach KRAHMER (1963) als Messinstrument zu ungenau, da die Ergebnisse stark variieren.

Nach dem Gebrauch von analogen Instrumenten (Zirkel und Lineal) rücken zunehmend digitale Messmethoden (an digitalisierten Fotos: EVANS u. MCGREEVY [2006]; an CT-Aufnahmen: MORROW et al. [2000]; ERIKSEN et al. [2012]) in den Vordergrund.

Generell ist es zunächst wichtig, die Lage und Beschaffenheit der für die Messungen benutzten Punkte zu definieren und reproduzierbar zu beschreiben, damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können. Ein diesbezüglich sehr umfangreiches und ausführliches Werk ist die Messanleitung von DRIESCH (1976): Es enthält detaillierte Festlegungen einer Vielzahl von Punkten an vielen verschiedenen Knochen verschiedener Haus- und Wildtierrassen; die Punkte werden bezüglich ihrer Eignung bewertet, Messstrecken werden vorgeschlagen.

Mit den Vorgaben dieser Messanleitung (DRIESCH 1976) hat KOMOSA et al. (2006) die Schädel von 43 Pferden miteinander verglichen; er wählte 34 Messstrecken aus, um zu klären, ob anhand der Schädelproportion auf den Konstitutionstyp des Pferdes



geschlossen werden kann. Eine detaillierte morphometrische Analyse speziell des Hirnschädels (Neurocranium) ist hier nicht enthalten.

LÖFFLER (1919) untersuchte das Verhältnis von Angesichts- zu Hirnschädel (Viscero- zu Neurocranium) des Pferdes vor allem im fetalen und frühen postnatalen Stadium (18 Feten, 12-24 Wochen; ein neugeborenes Fohlen; 4 Fohlen, 3 Tage bis 6 Monate; ein Jährling; 1 adultes Pferd ohne Altersangabe; ein 7 Jahre altes Pferd). Die Länge des Schädels nahm – im Vergleich zur Breite (gemessen im Bereich des Os parietale) – zu, d.h. der Schädel wurde mit steigendem Alter länger und schmaler, und zwar insbesondere zu Gunsten des Viscerocraniums (im Nasen- und Kieferbereich).

LÖFFLER (1919) stellte heraus, dass das mächtige Gehirnwachstum mit einer ebenso mächtigen Entwicklung des fetalen Gehirnschädels einhergeht; diese Entwicklung ist früher beendet als die des Gesichtsschädels und fällt dann hinter jene zurück. Am Längenwachstum des Hirnschädels ist gemäß LÖFFLER (1919) die Pars basilaris des Os occipitale (45 mm bei dem 6 Wochen alten Fohlen; 65 mm bei dem 7 Jahre alten Pferd) beteiligt; Längenangaben des Corpus des Os sphenoidale decken in der Studie von LÖFFLER (1919) nicht denselben Zeitrahmen ab, sondern beziehen sich auf die Feten sowie auf die Fohlen im Alter von einem Tag, drei Tagen, 6 Monaten und auf einen Jährling.

Mit Blick auf die *Innenseite* des Pferdeschädels wählte KRAHMER (1963) die Strecke vom caudo-dorsalen Rand des Foramen occipitale („Foramen occipitale magnum“) bis zur Lamina cribrosa der Fossa ethmoidalis als Maß für die Länge des Hirnschädels. Ähnlich wie in der Arbeit von KOMOSA et al. (2006) standen Fragen nach der Anwendbarkeit kranio-metrischer Daten für die Beschreibung/Beurteilung des Phänotyps der Pferde in Bezug auf die Pferderasse im Mittelpunkt: KRAHMER (1963) zeigte, dass sich die Extreme (Pony versus Kaltblut) in den Messwerten widerspiegeln, dagegen aber die ähnlichen Phänotypen (Hannoveraner versus Oldenburger oder Haflinger) nicht.



Os ethmoidale und Os occipitale wurden auch von CHROSZCZ et al. (2014) für Messungen im Rahmen archäozoologischer Studien ausgewählt; die Länge der Strecke zwischen dem Basion (caudalster Punkt der Pars basalis ossis occipitalis) und dem Ethmoideum (rostralster Punkt an der Crista galli) war ein geeigneter Parameter für die Ermittlung der Widerristhöhe mittels mathematischer Prozeduren (für das Pferd modifizierte Formel von WYROST u. KUCHARCZYK [1967]).

In keiner der genannten Arbeiten – auch nicht in der Messanleitung von DRIESCH (1976) – wurden Strecken untersucht, die von einem Punkt außen zu einem Punkt innen reichten; darüber hinaus wurden bei DRIESCH (1976) relativ wenige Messstrecken angegeben, die sich speziell auf das Neurocranium beziehen. Dies mag der Tatsache geschuldet sein, dass es nur schwer (wenn überhaupt) möglich war, mit den genannten analogen Messwerkzeugen von einem äußeren Punkt zu einem inneren Punkt zu gelangen, ohne dabei Teile des Schädels zu zerstören.

3 Material und Methode

3.1 Untersuchungsgut

Das Probenmaterial umfasste 36 mazerierte Schädelhälften (die Köpfe waren median längs halbiert worden) von Warmblutpferden.

Diese Schädelhälften stammten aus dem Fundus des Anatomischen Instituts der Tierärztlichen Hochschule Hannover oder wurden von Köpfen angefertigt, die zuvor zu Lehrzwecken in den Präparierkursen des Instituts genutzt worden waren. Es wurden keine Tiere speziell für diese Untersuchung euthanasiert. Geschlecht und Alter der Tiere waren vorberichtlich nicht bekannt.

Tab. 1: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Schädelhälften von Warmblutpferden.

Nr.	Alter * (Jahre)	Schädelhälfte	Nr.	Alter * (Jahre)	Schädelhälfte
1	19	R	20	9	R
2	7,5	L	21	13	L
3	8	R	23	7	R
4	14	R	24	9	L
5	14	R	25	7,5	R
6	14	L	26	14	R
7	4	R	27	9	R
9	1	L	28	13	R
10	8	R	29	16,5	R
11	11	R	30	2,5	R
12	11	L	31	23	R
13	10	R	32	0,12	L
14	16	R	33	16,5	R
15	16	L	34	3,5	L
16	3	L	35	0,12	L
17	14	L	36	23	L
18	9	R	37	7	R
19	13,5	L	38	18	R

* geschätzt anhand der Zähne (siehe 3.2.5.1, 3.2.5.2)
R = Rechts, L = Links



Die ursprünglich im Untersuchungsgut vorhandenen Schädelhälften Nr. 8 und Nr. 22 wurden verworfen: Anhand der Zähne wurden sie als adult eingeschätzt (Kundenfreiheit), waren aber beide auffällig kleiner als alle anderen; auch ihre Messwerte waren bei den Probemessungen sehr viel kleiner, so dass sie vermutlich zu Ponys, anstatt zu Großpferden, gehörten.

3.1.1 Probenvorbereitung: Mazeration

Die für die Messung ausgewählten Pferdeköpfe wurden mit einem Messer abgefleischt, anschließend mindestens 24 Stunden unter fließendem Wasser gewässert und danach bei 60 °C in einer Waschmittellösung (5 %) 3-4 Wochen mazeriert. Die Waschmittellösung wurde alle 2-3 Tage gewechselt; gegebenenfalls wurden dabei lockere Partikel (Gewebeanhaftungen) vorsichtig mechanisch entfernt. Nach der Mazeration wurden die Pferdeschädel 2 Stunden in einer Waschmittellösung (5 %) abgekocht (entfettet). Sie wurden dann zum Bleichen in einer Wasserstoffperoxid-Lösung (0,5 %) nahe dem Siedepunkt erhitzt und verblieben 1 Stunde in der Lösung ohne weitere Wärmezufuhr. Schließlich wurden sie – ohne eine weitere spezielle Entfettung – an der Luft getrocknet.

3.1.2 Antastpunkte/Points of Interest (POIs)

Mit einem weichzeichnenden Bleistift wurden auf den Schädelpräparaten so genannte Antastpunkte aufgetragen *; sie werden im Folgenden auch als Points of Interest (POIs) bezeichnet.

*Diese werden mit der Spitze des Faro[®] Fusion Messarms berührt, also „angetastet“.



Tab. 2: Übersicht über außen am Schädel gelegene Points of Interest (POIs); vergleiche dazu Abb. 1.

POI	Lagebeschreibung (+ = gut tastbar am lebenden Pferd)
0	Rostralster Punkt des Schädels (am Margo alveolaris des Os incisivum) (+)
1	Rostralster Punkt der Orbita (+)
2	Rostralster Punkt des Foramen supraorbitale (+)
3	Rostralster Punkt der Linea temporalis (+) (= rostralster Punkt des Processus zygomaticus des Os frontale in der Fossa temporalis)
4	Der höchste und zugleich caudalste Punkt des Processus zygomaticus des Os temporale (+)
5	Auf der Linea temporalis gelegener, rostralster Punkt des Os parietale (+)
6	Auf der Crista supramastoidea gelegener Punkt; auf halber Strecke zwischen den POIs 4 und 11
7	Der Schnittpunkt der Linie zwischen den POIs 4 und 5 mit der Linie zwischen den POIs 8 und 11
8	Der Schnittpunkt der Linie zwischen den Punkten 4 und 14 mit der Linie zwischen den Punkten 7 und 11 (beide Linien stehen in einem
9	Die Hälfte der Entfernung zwischen den Punkten 6 und 14
10	Der Schnittpunkt der Linien zwischen den Punkten 7 und 11 mit der Linie zwischen den Punkten 6 und 14
11	Punkt lateral an der Crista nuchae (wo diese in die Crista supramastoidea übergeht)
12	Die Hälfte der Entfernung zwischen den POIs 7 und 8
13	Median gelegener Schnittpunkt der rostral verlängerten Linie zwischen POIs 3 und 7 mit der medial verlängerten Linie zwischen POIs 14 und 16
14	Der Punkt auf der Medianen, der von der medial verlängerten Verbindungslinie zwischen den Punkten 4 und 8 getroffen wird
15	Der Punkt auf der Medianen, der von der Verbindungslinie zwischen Punkt 9 auf der rechten und Punkt 9 auf der linken Schädelhälfte getroffen wird
16	Der caudalste und zugleich medialste Punkt des Schädels, d.h. dorso-median an der Crista nuchae (+)
23	Der caudalste Punkt der Orbita (+)

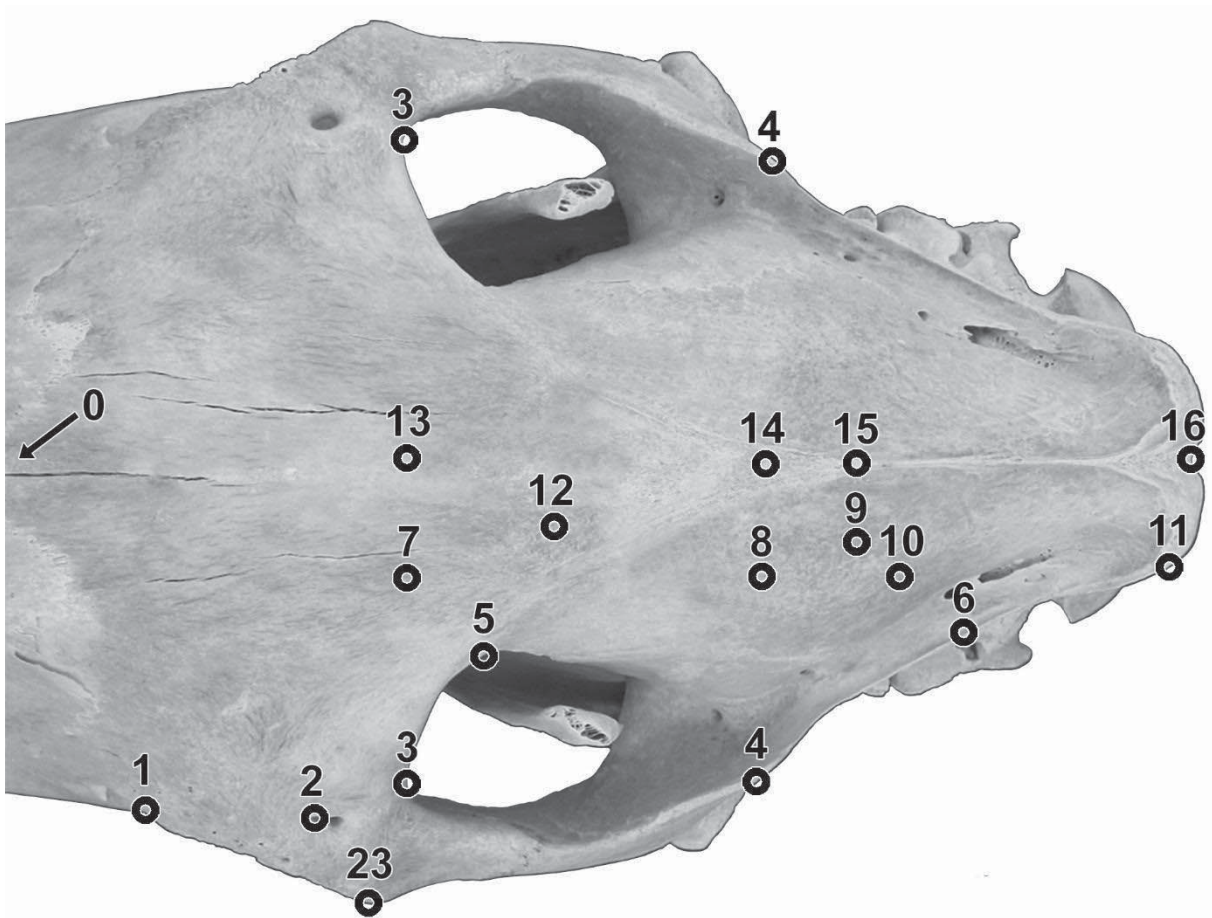


Abb. 1: Points of Interest (POIs) auf der Außenseite des Pferdeschädels (der Punkt 0 befindet sich an dem hier nicht sichtbaren Margo alveolaris des Os incisivum).



Tab. 3: Übersicht über innen am Hirnschädel gelegene POIs; vergleiche dazu Abb. 2.

POI	Lagebeschreibung
17	Median auf der Crista orbitosphenoidalis
18	Median auf der Crista sphenoccipitalis
19	Der zentrale Punkt des Porus acusticus internus
20	Der rostro-ventralste Kontaktpunkt zwischen Pars petrosa und Pars squamosa des Os temporale
21	Der dorsalste Kontaktpunkt zwischen Pars petrosa und Pars squamosa des Os temporale
22	Der lateralste Punkt des Cavum cranii auf der Facies cerebralis der Pars squamosa des Os temporale
24	Am dorsalen Rand des Foramen magnum in der Medianen (= Opisthion [DRIESCH 1976])
25	Der rostralste Punkt des Cavum cranii (dorsal der Fossa ethmoidalis)
26	Der caudalste Punkt der rostralen (großen) Abteilung des Cavum cranii (rostral am Tentorium cerebelli osseum gelegen)