



## 1 Einleitung

Wachstumsbedingte *Lageveränderungen* von osteologischen Marken (“Knochenpunkten“, Points of Interest, POIs [BRUCKER 2015]) sind seit langem bekannt, denn bei diversen Spezies (Mensch [PRZYGOCKA et al. 2012]; Hund [ONAR 1999; ONAR u. GÜNEŞ 2003]; Pferd [USSOW 1901, 1902; OSBORN 1912; DUERST 1922, 1926; KRAHMER 1963; DRIESCH 1976; RADINSKY 1983, 1984; KOMOSA et al. 2006; EVANS u. MCGREEVY 2006]) sind *Streckenmessungen* in sehr großem Umfang durchgeführt worden. Dabei wurden – dem Wesen von Streckenmaßen entsprechend – die Abstände zwischen jeweils 2 Punkten zueinander beschrieben. Keine dieser Arbeiten gibt aber an, in welche *Richtung* der *eine*, der *andere* oder zugleich *beide* Punkte im Zuge einer Vergrößerung dieser Abstände verlagert worden sind. Dazu bedürfte es der Kenntnis von einem Fixpunkt, d.h. einem lagekonstanten Punkt, auf den die Streckenmaße bezogen werden können. Solche sind – a priori und bis dato – (noch) nicht bekannt. Aufgrund dessen können “fixe Orientierungspunkte“ nur angenommen und *Verlagerungsrichtungen* nur *abgeleitet* werden aus einem Vergleich mehrerer, auf einen solchen angenommenen Fixpunkt bezogener Strecken (BRUCKER 2015).

BRUCKER (2015) wählte z.B. einen Punkt median auf der Crista orbitosphenoidalis (rostrale Begrenzung der mittleren Schädelgrube, Fossa cranii media). Dieser Punkt erscheint aufgrund seiner intracranialen Lage messtechnisch weniger vorteilhaft als eine Marke *außen* am Schädel: dort befinden sich Punkte, die zwar optisch und palpatorisch markant (als “Landmarks“), allerdings nicht lagekonstant sind (BRUCKER 2015). Darum bedarf es anderer Methoden, die Aussagen über *Richtungsveränderungen* *nicht ableiten*, sondern direkt *berechnen*, z.B. unter Zuhilfenahme von geometrischen Modellen auf der Basis von Winkeln (ONAR u. GÜNEŞ 2003). Ein solches Modell geht – anders als bisherige Methoden (Streckenmessungen, siehe oben) – nicht von jeweils 2 Punkten aus, sondern erfasst 3 Punkte. Deren Abstände bilden Strecken, die einen *Winkel* einschließen. Die Verlagerung eines der Punkte führt geometrisch zu einer Veränderung des Winkelmaßes: Je nachdem, in welchem



---

*Maß* und in welche *Richtung* ein Punkt verlagert wird, vergrößert oder verkleinert sich der entsprechende Winkel (ONAR u. GÜNEŞ 2003). Dieses geometrische Modell soll nun auf die Untersuchung des Hirnschädels (Cranium) vom Pferd angewendet werden, und zwar insbesondere auch in Hinblick auf intracraniale Punkte.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Osteogenese des Pferdeschädels

Die Osteogenese der verschiedenen Ossa cranii des Pferdes erfolgt *fetal* entweder durch *desmale* oder durch *enchondrale* Ossifikation (Tab. 1). Bei einer desmalen Ossifikation bildet sich das Knochengewebe direkt aus dem mesenchymalen Bindegewebe, bei der enchondralen durch den Ersatz eines vorläufigen Knorpelgewebes durch Knochengewebe (LIEBICH 2004; FREWEIN et al. 2004; SCHNORR u. KRESSIN 2006). Die durch desmale Ossifikation entstandenen Deckknochen sind fetal sowohl durch Bindegewebsnähte (*Suturae*) als auch durch Fontanellen voneinander getrennt. Diese schließen sich beim Pferd bereits vor der Geburt, wodurch die einzelnen Deckknochen einen stabilen geschlossenen Verband bilden (SCHNORR u. KRESSIN 2006). Die durch enchondrale Ossifikation entstandenen Knochenteile des Schädels hingegen sind zunächst durch Knorpelfugen (*Synchondroses*) verbunden; dies lässt eine spätere Formänderung dieser Anteile zu (FREWEIN et al. 2004; SCHNORR u. KRESSIN 2006). Der Fugenschluss wird im Laufe des Wachstums- und Alterungsprozesses beim *Hirnschädel* früher abgeschlossen als am *Angesichtschädel* (USSOW 1902).



Tab. 1. Ossifikationstypen der verschiedenen Ossa cranii sowie deren Nahtobliterationen beim Pferd (nach USSOW 1901, 1902; DUERST 1926).

Ossifikationstyp	Ossa cranii	Nahtobliteration
Enchondral	Os sphenoidale	Basisphenoid und Präspenoid verschmelzen zwischen 2 und 2,5 Jahren post partum  Verschmelzung des Os sphenoidale mit dem Grundteil des Os occipitale 4 Jahre post partum
Desmal	Os parietale	Os parietale und Os frontale bereits ante partum verschmolzen (USSOW 1901); nach DUERST (1926) erst mit 2 Jahren
	Os interparietale	Verschmelzung Os parietale und Os interparietale mit 1,5-2,5 Jahren post partum  Verschmelzung Os parietale und Os interparietale mit Hinterhauptsschuppe 4,5-5 Jahre post partum  Verschmelzung Os parietale mit Os temporale 12-15 Jahre post partum  Verschmelzung des Proc. orbitalis mit dem Proc. zygomaticus des Os temporale 5-7 Jahre post partum  Verschmelzung mit Os temporale 5-7 Jahre post partum
	Os frontale	Siehe oben: Os parietale



Fortsetzung Tab. 1. Ossifikationstypen der verschiedenen Ossa cranii sowie deren Nahtobliterationen beim Pferd (nach USSOW 1901, 1902; DUERST 1926).

Enchondral und desmal (Mischknochen)	Os occipitale (Schuppe, zwei Seitenteile, Grundteil)	<p>Grundteil verschmilzt mit Seitenteilen im Laufe des dritten Monats post partum</p> <p>Seitenteile verschmelzen mit Schuppe zwischen 1,3 und 2 Jahren post partum</p> <p>Os occipitale verschmilzt mit Os parietale 4,5-5,5 Jahre post partum</p> <p>Os occipitale verschmilzt mit Os sphenoidale zwischen 4 und 6 Jahren post partum (sehr unregelmäßig)</p> <p>Os occipitale verschmilzt mit Os temporale 10-15 Jahre post partum</p>
	Os temporale	<p>Verschmelzung zwischen Proc. zygomaticus und Proc. temporalis des Os zygomaticum 6-7 Jahre post partum</p> <p>Verschmelzung Os temporale mit Os sphenoidale 6-7 Jahre post partum</p> <p>Verschmelzung des Os temporale mit Os occipitale und Os parietale 12-15 Jahre post partum</p>



## 2.2 Wachstumsphasen des Schädels

Im Laufe des Lebens erfährt das Knochengewebe vom juvenilen Zustand über die Adoleszenz bis zur Seneszenz zahlreiche Auf-, Um- und Abbauvorgänge (LIEBICH 2004).

*Drei Phasen des Wachstums* des Pferdeschädels werden unterschieden (USSOW 1901). Die erste Phase ist charakterisiert durch ein gleich starkes Breiten- und Längenwachstum von Hirnschädel (Cranium) und Angesichtsschädel (Facies) während der ersten 9 Lebensmonate, wobei das Cranium in seiner Breite lediglich innerhalb des ersten halben Jahres zunimmt (USSOW 1901; DUERST 1926<sup>1</sup>). Das Cranium erfährt sein größtes Wachstum also in einem kurzen Zeitraum post partum. In der sich anschließenden zweiten Phase vollzieht sich vor allem ein Wachstum des Angesichtsschädels (LÖFFLER 1919). In der folgenden dritten Phase wird das ausschließliche Wachstum der Facies von den zahnwechselbedingten Formänderungen des Kiefers geprägt und von der Herausbildung von Oberflächenstrukturen wie “Gräthen“ und Kämmen begleitet (USSOW 1901). Es schließt sich eine *Ruhephase* des ausgewachsenen Schädels bis zum zehnten Lebensjahr an. Danach folgt die sogenannte *Reduktionszeit*, wobei – durch den Verlust von Knochensubstanz bedingt – vor allem eine Formveränderung der Gesichtsknochen (Verschmälerung und Verlängerung der Facies) auftritt (USSOW 1901). Die Wachstumsprozesse der einzelnen Schädelknochen (oben genannte drei Wachstumsphasen) erfolgen keineswegs linear, denn Cranium und Facies zeigen prozentual verschieden starkes Wachstum in den verschiedenen Lebens-/Osteogenesephasen.

Dies stellt eine Herausforderung bei der Festlegung verlässlicher, d.h. entweder konstanter oder zu bekannten Zeitpunkten genau lokalisierter osteologischer Orientierungspunkte (BRUCKER [2015] spricht von Points of Interest, POIs) dar; solche könnten als reproduzierbare Landmarks für Zugänge zum Schädelinneren und für das Auffinden bestimmter intracranialer Strukturen dienen.

---

<sup>1</sup> zwischen rechtem und linkem Euryon (siehe Anlage 1).



### 2.3 Craniometrie

Die Vermessung von Knochen (Osteometrie), so auch die des Schädels (Craniometrie), ist in der Humanmedizin bereits fester Bestandteil der Diagnostik sowie der invasiven Chirurgie (PRZYGOCKA et al. 2012; GAPERT et al. 2013). In der Tiermedizin stellt sie ein lange bekanntes, jedoch vergleichsweise weniger klinisch etabliertes Verfahren dar. Vielmehr standen bei der Vermessung von Tierschädeln paläoanatomische, archäozoologische oder züchterische Aspekte im Vordergrund; so lieferte die Craniometrie wichtige Erkenntnisse über evolutionsbedingte morphologische Veränderungen des Schädels vom Pferd (REEVE u. MURRAY 1942; RADINSKY 1981; 1983, 1984; PASICKA et al. 2011; CHRÓSZCZ et al. 2014). Zudem wurde Craniometrie bei Tierschädeln als ein wichtiges Werkzeug zur Rassendifferenzierung und Ermittlung von Rassestandards zwecks Optimierung der Zuchtselektion (OSBORN 1912; KRAHMER 1963; ONAR 1999; ONAR u. GÜNEŞ 2003; EVANS u. MCGREEVY 2006) eingesetzt. In den älteren, bibliografisch sehr umfangreichen Arbeiten von OSBORN (1912) und DUERST (1926) sind die – in Bezug auf die Nomenklatur der Knochenpunkte und Strecken sehr verschiedenen Untersuchungen – zusammengetragen; sie wurden allerdings selten oder gar nicht inhaltlich miteinander in Einklang gebracht. Folglich erweist sich hierdurch ein Vergleich von Daten – vor allem aus älteren Publikationen – als problematisch, weil die Kriterien für Auswahl und Benennung der Knochenpunkte (als Marken für die zu messenden Strecken) stark variieren, denn: Manche dieser Marken befinden sich an Suturen zwischen aneinander grenzenden Knochen (z.B. die Punkte “Bregma“ oder “Nasion“; siehe Anlage 1); andere liegen an auffälligen Kanten/Rändern von einzelnen isolierten Knochen (z.B. “Akrokranium“, “Inion“ oder “Ectorbitale“; siehe Anlage 1) oder an knöchernen Foramina (z. B. “Basion“ oder “Opisthion“; siehe Anlage 1) oder an herausragenden und deshalb gut palpierbaren Höckern oder Vorsprüngen (am Jochbogen, an der Dorsalfläche des Os ethmoidale [BRUCKER 2015]). Das sehr weite Spektrum von osteologischen Marken wurde aktuell von BRUCKER (2015) um solche erweitert, die sich vor allem innerhalb der Schädelhöhle befinden und in Lagebeziehung zu intracranialen, z.B. neuroanatomischen, Strukturen stehen; dergleichen



waren bisher nur in viel kleinerem Umfang (LÖFFLER 1919) berücksichtigt worden. Die Nutzbarmachung/der Gebrauch all dieser genannten Marken (Knochenpunkte) ist folglich extrem unterschiedlich: Oben Erstgenannte (z.B. jene an Suturen [DURERST 1926; KRAHMER 1963; DRIESCH 1976; ONAR 1999; ONAR u. GÜNEŞ 2003; KOMOSA et al. 2006; PASICKA et al. 2011]) sind nur am skelettierten (d.h. nicht mehr von Haut und Weichgeweben bedeckten) Präparat zu erkennen; die Letztgenannten (z.B. am Jochbogen [BRUCKER 2015]) sind dagegen insbesondere für die Anwendung am lebenden Tier vorgesehen; Erstgenannte dienen insbesondere der Vermessung von Einzelknochen und haben archäozoologische Bedeutung (REEVE u. MURRAY 1942; RADINSKY 1981, 1983, 1984; CHRÓSZCZ et al. 2014); Letztgenannte sollen als Landmarks für diagnostische Maßnahmen und/oder therapeutische Zugänge empfohlen werden (z.B. Crista orbitosphenoidalis [BRUCKER 2015]).

Die Diversität der Kriterien und Absichten findet sich in einer entsprechenden Heterogenität der Nomenklatur wieder. Dies gilt insofern, als bestimmte Marken (Knochenpunkte) neuerer Untersuchungen (BRUCKER 2015) keine Entsprechung in den früheren Untersuchungen (Tab. 2) haben; es fehlte das Vokabular in Analogie zu jenen, oft auf den Menschenschädel bezogenen, meist griechischen Begriffen (siehe Anlage 1), so dass die neu eingeführten Knochenpunkte gar nicht mit einem (griechischen) deskriptiven Namen, sondern nur mit Zahlen versehen wurden (BRUCKER 2015).

Die Arbeit von DRIESCH (1976) bietet die weitaus umfangreichste Zusammenstellung osteometrischer Daten des gesamten Skeletts (Gliedermaßenknochen, Knochen des Stammes, Knochen des Kopfes). Sie bietet und beschreibt Knochenpunkte (Marken) und deren Benennung und topographische Beschreibung sowie Angaben über die entsprechenden Messdaten der Strecken. Aus Sicht der Craniometrie erscheint diese Arbeit als ein besonders ergiebiges Referenzwerk, weil viele folgende Untersuchungen (KOMOSA et al. 2006; ONAR 1999; BRUCKER 2015) – mit den



jeweils gebotenen Modifizierungen und Ergänzungen – Bezug darauf nehmen (siehe auch Tab. 2 - Tab. 4).

## 2.4 Messstrecken

Die im Schrifttum mitgeteilten Strecken sind meist Maße von Längen, Breiten und Höhen *außen* am Schädel (ONAR 1999; KOMOSA u. MOLIŃSKI 2002; ONAR u. GÜNEŞ 2003; EVANS u. MCGREEVY 2006; PASICKA et al. 2011). Mit Blick – unter anderem – auf Indikationen in der Tierzucht beschreiben die gemessenen Strecken entweder die Dimensionen des Schädels in seiner Gesamtheit oder sie dienen einem Vergleich des Hirn- und des Angesichtsschädels hinsichtlich ihrer Größen und Proportionen; dabei ist eine solche Unterteilung des Schädels in Cranium und Facies aufgrund unterschiedlicher oder unklarer Grenzziehungen nicht immer einheitlich. Auch die Auswahl der gemessenen Strecken variiert in den Publikationen sehr stark (Tab. 2 - Tab. 4). In der Literatur variieren beispielsweise die für die sogenannte Hirnschädellänge verwendeten Knochenpunkte von Autor zu Autor (vgl. Tab. 2, DUERST 1926, KRAHMER 1963); ein weiteres Beispiel stellt die Beschreibung der Breite des Craniums<sup>2</sup> dar (Tab. 3, z.B. DUERST 1926, EVANS u. MCGREEVY 2006). Eine Bewertung der Strecken(maße) durch den jeweiligen Autor fehlt meist.

---

<sup>2</sup> Im Schrifttum wird das Cranium oft auch als Neurocranium bezeichnet und somit dem Viscero-/Splanchnocranium (Angesichtsschädel) gegenüber gestellt.



Tab. 2. Angaben über Strecken, die den Hirnschädel (Cranium) in der Längsrichtung beschreiben (die Streckenbezeichnung nennt jeweils den Anfangspunkt und Endpunkt: Name – Name).

OSBORN (1912)	Länge des Craniums: Von der Mitte der Linie, die die Caudalränder beider Orbitae miteinander verbindet, zur Mitte des Occipitalkammes
DUERST (1926)	Hirnschädellänge: Basion – Nasion Laterale Hirnschädellänge: Opisthokranion – Krothaphion Dorsale Craniallänge: Opisthokranion – Ektorbitale in Projektion Francksche Stirnlänge: Opisthion – Supraorbitale Inion – Nasion Innere Hirnhöhlenlänge: Siebbeinplatte – Opisthion
KRAHMER (1963)	Mediane Stirnlänge: Akrokranion – Nasion Hirnschädellänge: Caudodorsalrand des Foramen occipitale magnum – Lamina cribriformis der Fossa ethmoidalis Basicranialachse: Basion – Hormion
DRIESCH (1976)	Länge des Neurocraniums*: Basion – Nasion Obere Neurocraniumslänge*: Akrokranion – Supraorbitale Länge der Hirnkapsel: Opisthion – Ektorbitale Basicranialachse: Basion – Hormion
RADINSKY (1984)	Länge der Hirnkapsel: Foramen magnum – orbital foramen
ONAR (1999)	Länge des Craniums: Inion – Nasion
* in anderen Quellen als Cranium bezeichnet und somit dem Begriff Facies (An Gesichtsschädel) gegenüber gestellt.	