

Zur Geschichte des Przewalskipferdes (*Equus Przewalskii*) und morphologische Untersuchungen jahreszyklischer Veränderungen am Huf von Urwildpferden und wildlebenden Hauspferden

Bianca Patan-Zugaj¹, Claudia Herrmann², Christoph Mülling³ und Klaus-Dieter Budras²

Klinik für Pferde der Veterinärmedizinischen Universität Wien¹, Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin² und Veterinär-anatomisches Institut der Universität Leipzig³

Zusammenfassung

Vorgestellt werden ein Überblick zur Geschichte des Przewalskipferdes (*Equus przewalskii*) sowie vergleichende Untersuchungen zu Hornbildungsrate, Hornverlust, Hornqualität und Hufform bei Przewalskipferden (*Equus przewalskii*; n=15) und Hauspferden (*Equus caballus*; n=26), die unter ähnlichen naturnahen Lebensbedingungen gehalten wurden. Bei beiden Pferdeguppen konnte eine deutliche Saisonalität im Hinblick auf Hornbildungsrate und Hornverlust mit Maximalwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter festgestellt werden. Im Jahresdurchschnitt waren beide Parameter bei den ausgewilderten Hauspferden lediglich um ca. 1 mm geringer als bei den Przewalskipferden. Auch die Hufhornfestigkeit wies bei den untersuchten Przewalskipferden jahreszeitliche Unterschiede auf, wobei im Winter ein festeres und qualitativ hochwertigeres Horn gebildet wurde als im Sommer. Bei der Untersuchung der Hufform stellte sich heraus, dass die Hufe der untersuchten Przewalskipferde im Vergleich zu denen der ausgewilderten Hauspferde durch einen längeren Hufrücken und eine deutlich dickere Hornsohle gekennzeichnet waren. Insgesamt kann die Hufform mit einer dicken Sohle und auch die Hufhornqualität bei den untersuchten Przewalskipferden als günstiger angesehen werden, weshalb der Slogan „Zurück zum Ursprung“ für die Zucht der Hauspferde im Hinblick auf die genannten Parameter am Huf durchaus als gerechtfertigt erscheint.

Schlüsselwörter: Pferd / Przewalskipferd / *Equus przewalskii* / *Equus caballus* / Hornbildungsrate / Hornverlust / Hornqualität / Hufform

History of the Przewalski horse (*Equus Przewalskii*) and morphological examination of seasonal changes of the hoof in Przewalski and feral horses

This paper provides an overview on the history of the Przewalski horse (*Equus przewalskii*). Additionally data of morphological examination of the rate of horn production, horn quality and hoof shape in Przewalski horses (*Equus przewalskii*; n = 15) and feral horses (*Equus caballus*; n = 26) kept under similar semi-natural conditions are presented. In both groups we found a marked seasonal influence on the rate of horn production and loss of horn due to chipping with maximum values in summer and minimum values in winter. The annual average of both parameters in feral horses was only 1 mm lower than in Przewalski horses. Firmness of hoof horn showed significant seasonal differences in Przewalski horses with firmer horn of higher quality produced in winter. Morphometric assessment of the hoof form revealed a longer dorsal wall and a significantly thicker sole horn in the hooves of the Przewalski horses compared to the feral horses. The hoof form characteristic for Przewalski horses with a thick sole and horn of higher firmness and quality is considered to be advantageous for optimal integrity and performance of the hoof. Our data for hoof shape and horn quality in Przewalski horses indicate that the slogan "back to the origin" for to breeding horses seems to be justified.

Keywords: Horse / Przewalski horse / *Equus przewalskii* / *Equus caballus* / horn production / wear of horn / horn quality / hoof shape

Einleitung

Die Herkunft des Pferdes liegt nach *von den Driesch* (1989) immer noch im Dunklen, ebenso wie die Anfänge der Pferdehaltung. Bis vor wenigen Jahren galten die Przewalskipferde nach überwiegender Auffassung noch als direkte Vorfahren unserer Hauspferde (*Hanneder* 2002). Von anderen Autoren wurden sie als Überlebende des ersten Stadiums der Domestikation gewertet (*McGreevy* 2012). Neue Analysen des Chromosomensatzes ließen jedoch erhebliche Zweifel aufkommen, weil die Anzahl der diploiden Chromosomen beim Hauspferd (*Equus caballus*, n=64) und Przewalskipferd (*Equus przewalskii*, n=66) nicht übereinstimmen. Das gilt allerdings auch für andere in Frage kommende Vorfahren der Hauspferde (*McGreevy* 2012). Inzwischen ist jedoch bekannt geworden, dass die numerische Abweichung auf einer Modifikation der haploiden Chromosomen 32 bei *Equus caballus* beruhen könnte. Chromosomen-Dimorphismus muss nicht

zwangsläufig eine bedeutende Abweichung vom Genom des Hauspferdes bedeuten, das vor wenigen Jahren entschlüsselt wurde (*Walde* 2009). Bereits vor Jahrmillionen soll es zur Divergenz zwischen *Equus caballus* und seinen zahlreichen Verwandten gekommen sein, wobei *Equus przewalskii* als Link gelten soll. Genetische Untersuchungen an mitochondrialer DNA belegen einen engen Verwandtschaftsgrad zwischen *Equus caballus* und *Equus przewalskii* (*McGreevy* 2012), zumal Kreuzungen lebensfähige Nachkommen hervor brachten (*Volf* 1996). Nach *McGreevy* (2012) gehören beide trotz unterschiedlicher Chromosomenanzahl einer Spezies an. Die Ähnlichkeiten in den Blut-Serumproteinen und den Blutgruppen stützen diese Hypothese (*McGreevy* 2012).

Eine massenhafte Verbreitung der Przewalskipferde war in Eurasien zum Ende der Eiszeit vorhanden, was umfangreiche Knochenfunde und Portraits in der Umgebung von Avignon in

Südfrankreich (von den Driesch 2010) und bis nach Ostasien reichende Spuren belegen.

Die erste wissenschaftliche Beschreibung mit biologischer Systematik basiert auf Untersuchungen des russischen Biologen Iwan Poljakow aus dem Jahre 1881, der auch den Namen zu Ehren Przewalski's vorschlug. Als Grundlage diente ein Kadaver eines bis dahin unbekanntes Pferdetyps, der dem polnischen Naturforscher Przewalski – einem General im Dienste des russischen Zaren – von einer mongolischen Jagdgesellschaft geschenkt wurde. Przewalski übergab sein Geschenk der naturwissenschaftlichen Bibliothek in Petersburg und initiierte damit ein reges Interesse an diesem bis dahin unbekanntes Pferdetypp.

Einhergehend mit der Veröffentlichung von Poljakow wurde jedoch der Bestand an Przewalskipferden, unter anderem durch die Jagd, in so großem Maße gefährdet, dass der Hamburger Zoologe Carl Hagenbeck ein rigoroses Rettungsprogramm organisierte. Zu Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Fohlen in der Mongolei eingefangen und in mehreren Transporten nach Mitteleuropa gebracht. Die überlebenden 13 Fohlen (nur 11 nach McGreevy [2012]) wurden an Zoologische Gärten in der ganzen Welt verkauft. Sie bilden die enge Grundlage des Genoms der heute noch lebenden, weltweit mehr als 2000 Przewalskipferde. Zu einer breiteren Basis des Genoms konnte auch eine Przewalski-Stute, die in den 40-iger Jahren in der Ukraine gefangen wurde, nicht beitragen, da sie für Kreuzungen mit Hauspferden verwendet worden war (Volf 1996).

Die Reproduktion war besonders in Zoologischen Gärten in so hohem Maße erfolgreich, dass bereits lange vor der Jahrtausendwende erste Wiederauswilderungsversuche, vornehmlich in der Mongolei, gestartet werden konnten, allerdings mit anfänglichen Misserfolgen. Nahrungsmangel, Tierseuchen (Druse, Beschälseuche, Babesiose) und zunächst noch fehlende Akzeptanz der einheimischen Nomaden gehörten zu den Ursachen der Fehlschläge (Walzer et al. 2000). Im neuen Jahrtausend wurden die intensiven Bemühungen mit Erfolg gekrönt, obwohl nach dem sehr strengem Winter 2009/2010 immer noch massenhafte Verluste zu beklagen waren. Die Erfolge beruhen wesentlich auf einer geglückten Reproduktion unter den ausgewilderten Przewalskipferden.

Auch in anderen Regionen der Welt, so in den asiatischen ehemaligen Sowjetrepubliken, in der Ukraine und Ungarn wurden Auswilderungsprogramme gestartet. Nach neuestem Trend werden Przewalskipferde, auch in Deutschland, z. B. auf ehemaligen Truppenübungsplätzen zur Landschaftspflege eingesetzt. Zunehmend werden sie auch in Wildgehegen und in National- sowie Regionalparks gehalten.

Vier Fragen (Ziele) sollten bei unseren eigenen Untersuchungen geklärt/verfolgt werden:

1. Ermittlung des Einflusses von Wildbedingungen auf Hornbildungsrate, Hornverlust und Hufform bei Przewalskipferden und ausgewilderten Hauspferden.

2. Untersuchung jahreszeitlicher Unterschiede der Hufhornqualität bei Przewalskipferden aufgrund der Studien von Frohnes und Budras (2001), nach denen sich die Hornqualität aus

verschiedenen Bewertungsfaktoren wie Hornhärte, Hornelastizität, Wasserspeicherung und Schutz gegen mechanische und mikrobielle Noxen ergibt. Das Hufhorn kann bei guter Qualität seine Schutzfunktion voll erfüllen. Horn schlechter Qualität ist funktionell eingeschränkt und stellt somit eine Prädispositionsstelle für Hufkrankungen dar.

3. Strukturwandel der pflege- und bearbeitungsbedürftigen Hufe im Zoo geborener Przewalskipferde zu den sich selbst kürzenden („pflegenden“) Hufen der halbwild lebenden Tiere.

4. Vergleich von Huf-Qualitätsmerkmalen zwischen Hauspferden und Przewalskipferden, die unter vergleichbaren Wildbedingungen leben, um Vorschläge für die Zuchtauswahl zur Verbesserung der Hufgesundheits bei Hauspferden unterbreiten zu können.



Abb 1. Herde von Przewalskipferden im Semireservat Schorfheide. Herd of Przewalski horses in the semi reserve Schorfheide

Eigene Untersuchungen

Material und Methoden

Als Untersuchungsmaterial für die Untersuchungen zu Hornbildungsrate, Hornverlust und Hufform stand uns je eine Herde von Przewalskipferden (Abb.1) und ausgewilderten Hauspferden zur Verfügung, die unter ähnlichen Lebensbedingungen gehalten wurden. Die 15 untersuchten Przewalskipferde (14 Stuten und 1 Hengst), die in zoologischen Gärten Deutschlands geboren wurden, kamen seit dem Jahre 1993, im Alter von ein oder zwei Jahren, in das Semireservat Schorfheide bei Berlin. Die Widerristhöhe des Urwildpferdes entspricht mit 120 bis 145 cm der eines Pony-Kleinpferdes (Schäfer 2000). In größeren Zeitabständen wurden ältere Stuten durch jüngere Tiere ersetzt. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wiesen die Przewalskipferde folgende Altersverteilung auf: 4 Pferde im Alter von 1-3 Jahren, 10 Pferde im Alter von 5-7 Jahren, 1 Pferd im Alter von 10 Jahren. Eine veterinärmedizinische Behandlung der Tiere erfolgte lediglich zu zwei Anlässen: Im ersten Jahr der Eingewöhnung wurde an zwei Tieren eine Hufbearbeitung vorgenommen und im Jahre 2000 erkrankten drei Tiere an Gras-Hufrehe (Budras et al. 2001), die bei sehr günstigem Krankheitsverlauf durch eine Spontanheilung überwunden wurde. Drei Tiere verendeten durch Unfall, so dass uns ihre Hufe für unsere Untersuchungen der Hornqualität zur Verfügung standen.

Die Untersuchungen zur Hornbildungsrate und Hornabnutzung an den Przewalskipferden wurden im Semireservat

Schorfheide vorgenommen. Dieses ca. 38 ha große Semireservat in der Schorfheide nördlich von Berlin umfasst überwiegend Grasflächen und daneben einen kleinen Randstreifen mit Eichen- und Kieferbestand (Abb.1). Es weist ein Nebenareal von 4125 m² mit spärlichem Pflanzenbewuchs auf. Dieses Nebenareal beherbergt eine Tränke sowie eine Mess-Station zur Aufnahme und Speicherung zahlreicher Daten wie der Umgebungstemperatur, der Tageslichtdauer, des Körpergewichtes und der Bewegungsaktivität der Tiere (einschließlich der Phasen der Nahrungsaufnahme und der Ruhe), wobei Letztere durch elektronische Sensoren (Transponder) registriert wurde, die von den Tieren am Halsband getragen wurden (Scheibe et al. 1998). Die seit mehreren Jahren erhobenen Daten wurden uns dankenswerter und großzügiger Weise vom Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Berlin für unsere Untersuchungen am Huf zur Verfügung gestellt.



Abb 2. Thermomarkierung (Pfeile) und Maßstab am Rückenteil der Hufplatte eines Przewalskipferdes zur Bestimmung von Hornbildungsrate und Hornverlust.

Thermo mark (arrow) and scale on the dorsal wall of a Przewalski hoof for determining the rate of horn production and horn loss

Die Untersuchungen zur Hornbildungsrate und zum Hornverlust an Hauspferden erfolgten an 26 Tieren einer hundertköpfigen Herde von ausgewilderten Hauspferden (15 Stuten und 11 Hengste; Altersverteilung: 8 Pferde im Alter von 1-3 Jahren, 9 Pferde im Alter von 4-7 Jahren, 9 Pferde älter als 8 Jahre). Diese Herde wird ganzjährig unter natürlichen Bedingungen (allerdings mit Zufütterung im Winter) in einem Semireservat-ähnlichen Gehege in Liebenenthal gehalten. Das Gehege befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Semireservat Schorfheide, so dass die Hauspferde unter ganz ähnlichen Bedingungen leben wie die Przewalskipferde. Das insgesamt ca. 80 ha große Areal ist in mehrere ca. 20-40 ha große Abteilungen unterteilt, die abwechselnd von den Pferden genutzt werden können. Da jedoch keine Mess-Station zur Bestimmung des Körpergewichtes und der Bewegungsaktivität der Tiere vorhanden ist, konnten diese Faktoren bei den ausgewilderten Hauspferden nicht mit der Hornbildungsrate und dem Hornverlust verglichen werden.

Für die Untersuchungen zur Bestimmung der Hornbildungsrate, der Hornabnutzung und der Hufform nahmen wir sowohl bei den Przewalskipferden als auch bei den Liebenenthaler Hauspferden eine schmerzlose Markierung mit einem Lötkolben respektive einer Laubsäge am Rückenteil der Hornkapsel vor und befestigten dort außerdem einen Millimetermaßstab für eine fotografische Datenerfassung, die im monatlichen Abstand erfolgte (Abb.2). Der zunehmende Abstand von der Markierungsstelle bis zum Kronsaum (gemessen parallel zum Längsverlauf der Hornröhre) entspricht der Hornbildungsrate und der abnehmende Abstand von der Markierung zum Tragrand ergibt das Maß der Hornabnutzung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die monatlich gemessenen Werte anschließend jeweils für einen Zeitraum von 28 Tagen berechnet. Die Messdaten wurden statistisch ausgewertet und für die Przewalskipferde in Graphiken mit anderen beeinflussenden Faktoren (Körpergewicht, Bewegungsaktivität und Umgebungstemperatur) relativiert.

Für unsere morphologischen Untersuchungen mit licht- und elektronenmikroskopischer Technik zur Erfassung der Hornarchitektur und der Hornqualität wurden Hornproben von 10 verendeten Przewalskipferden (6 Stuten und 4 Hengste; Altersverteilung: 2 Pferde jünger als 2 Jahre, 3 Pferde im Alter

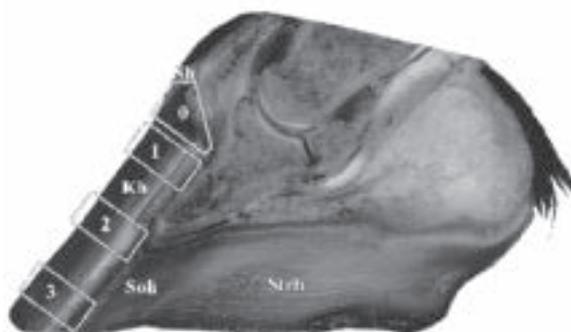


Abb 3. Medianschnitt des Hufes eines Przewalskipferdes mit Probenentnahmestellen (0-3) für die Untersuchungen zur Hornqualität. Das Sohlenhorn (Soh) weist eine Dicke von ca. 2 cm auf und ist somit deutlich ausgeprägter als bei Hauspferden. Kh=Kronhorn, Sh=Saumhorn, Strh=Strahlhorn.

Median section of the hoof of a Przewalski horse with sites (0-3) were samples were obtained for examination of horn quality. The sole horn (Soh) had a thickness of app. 2 cm and is significantly thicker than in domestic horses. Kh=coronary horn, Sh=horn of periople, Strh=horn of the frog

von 4-5 Jahren, 2 Pferde im Alter von 9-13 Jahren und 3 Pferde älter als 17 Jahre) an definierten Stellen des Hufrückens (Abb. 3) entnommen und histologisch bzw. elektronenmikroskopisch aufgearbeitet (Details siehe bei Patan 2001). Die gewonnenen Daten zur Hornstruktur wurden mit denen einer physikalischen Härteprüfung nach Shore C verglichen und so abgesichert (Patan 2001).

Ergebnisse

Hornbildungsrate, Hornverlust incl. Tragrandausbrüche (Chipping), Hufform und Hufhornqualität waren Gegenstand der Befunderhebung.

Hornbildungsrate

Die Hornbildungsrate betrug im Jahresmittel bei den untersuchten Przewalskipferden $5,81 \pm 2,10$ mm / 28 Tage (Mittelwert \pm Standardabweichung) und bei den Liebenthaler Hauspferden $4,40 \pm 1,71$ mm/28 Tage. Sie folgte sowohl bei den untersuchten Liebenthaler Hauspferden als auch bei den Przewalskipferden einem jahreszeitlichen Rhythmus mit Minimalwerten im Winter und Maximalwerten im Sommer (Abb. 4A). So wurde bei den untersuchten Przewalskipferden im Winter (Januar bis März) eine Hornbildungsrate von durchschnittlich $3,71 \pm 1,39$ mm/28 Tage, im Sommer (Juli bis September) von durchschnittlich $7,62 \pm 1,36$ mm/28 Tage gemessen. Die Liebenthaler Hauspferde wiesen im jahreszeitlichen Verlauf eine um durchschnittlich ca. 1 mm/28 Tage niedrigere Hornbildungsrate auf (Abb. 4A).

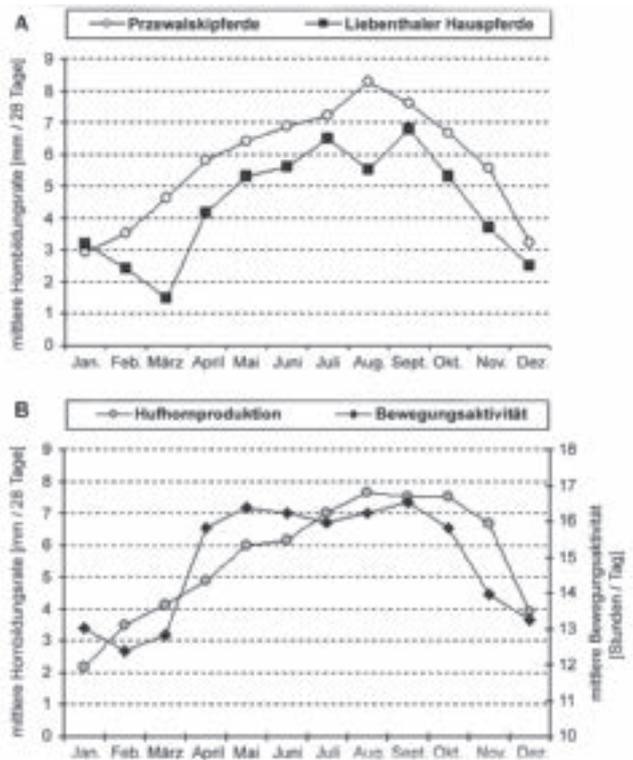


Abb 4. A Jahresgang der monatlichen Hornbildungsrate am Huf von Przewalskipferden (n=15) und Liebenthaler Hauspferden (n=26). **B:** Jahresgang der mittleren täglichen Bewegungsaktivität (n=4) im Vergleich zur monatlichen Hufhornproduktion von Przewalskipferden (n=8)

A: Annual course of the rate of horn production per month in the hooves of Przewalski horses (n=15) and the Liebenthaler feral horses (n=26). *B:* Annual course of the mean daily movement and activity (n=4) in comparison to the monthly horn production in Przewalski horses (n=8)

Für die Przewalskipferde konnte eine enge Korrelation zwischen der Hornbildungsrate und der Bewegungsaktivität der Pferde (Abb. 4B) sowie zwischen Hornbildungsrate und Umgebungstemperatur festgestellt werden (Pearsonscher Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient für Hornproduktion und Bewegungsaktivität: $r=0,81$ [n=12]; für Hornproduktion und Durchschnittstemperatur: $r=0,95$ [n=15]).

Hornverlust

Der Gesamt-Hornverlust, der sich aus dem Hornabrieb und aus insbesondere in den Sommermonaten auftretenden Tragrandausbrüchen (definiert als monatlicher Hornverlust von mehr als 15 mm) zusammensetzte, betrug bei den untersuchten Przewalskipferden im Jahresmittel $5,48 \pm 4,26$ mm/28 Tage und bei den Liebenthaler Hauspferden $4,36 \pm 3,30$ mm/28 Tage. Auch der Hornverlust zeigte sowohl bei den untersuchten Liebenthaler Hauspferden als auch bei den Przewalskipferden einen Jahresrhythmus mit Minimalwerten im Winter und Maximalwerten im Sommer (Abb. 5a), wobei Tragrandausbrüche (Chipping) bei den Liebenthaler Hauspferden in den Monaten Juni bis August und bei den Przewalskipferden in den Monaten Mai bis September zu beobachten waren. Der Gesamt-Hornverlust bei

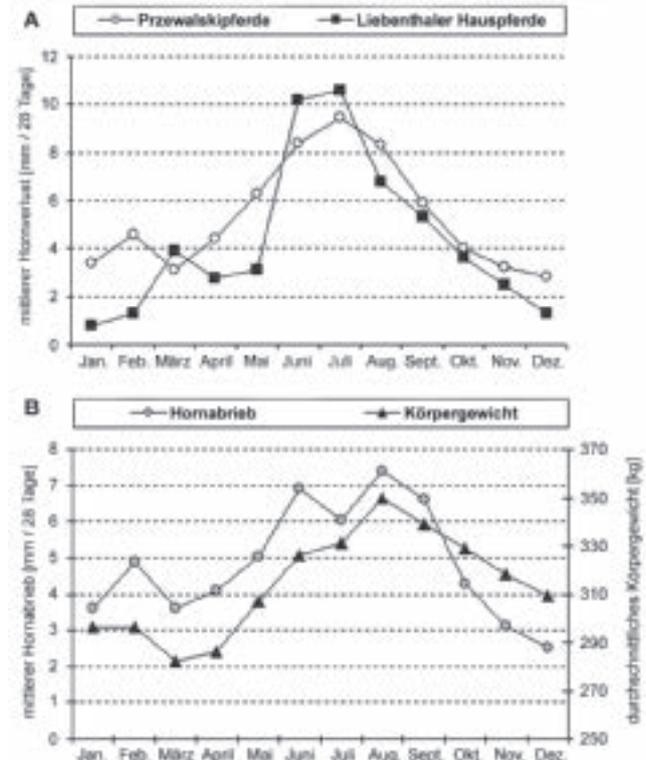


Abb 5. A Jahresgang des monatlichen Hornverlustes (Hornabrieb und Tragrandausbrüche) am Huf von Przewalskipferden (n=15) und Liebenthaler Hauspferden (n=26). **B:** Jahresgang des monatlichen Hornabriebs am Huf von Przewalskipferden (n=10) im Vergleich zum durchschnittlichen Körpergewicht der Pferde (n=10)

A: Annual course of the rate of horn loss per month (horn wear and chipping) in hooves of Przewalski horses (n=15) and Liebenthaler feral horses (n=26). *B:* Annual course of the monthly horn wear in hooves of Przewalski horses (n=10) compared to their mean body weight

den untersuchten Przewalskipferden betrug im Winter durchschnittlich $3,83 \pm 2,01$ mm/28 Tage und im Sommer durchschnittlich $8,43 \pm 2,46$ mm/28 Tage. Die Liebenthaler Hauspferde wiesen in den meisten Monaten einen um ca. 1-2 mm niedrigeren Hornverlust auf, allerdings war der Hornverlust in den Monaten Juni und Juli aufgrund von Tragrandausbrüchen geringgradig höher als bei den Przewalskipferden (Abb. 5A).

Für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der Hornabnutzung und dem Körpergewicht der Przewalskipferde sowie zwischen der Hornabnutzung und der Bewegungsaktivität der Tiere wurde lediglich der Hornabrieb gewertet, während der Hornverlust aufgrund von Tragrandausbrüchen hierbei nicht berücksichtigt wurde. Der graphische Vergleich zwischen dem monatlichen Hornabrieb und dem Körpergewicht der Pferde zeigt einen ähnlichen Verlauf beider Kurven (Abb. 5B). Auch der für das gesamte Jahr berechnete Korrelationskoeffizient ($r=0,68$; $n=12$) weist auf eine positive Korrelation beider Parameter hin.

Beim Vergleich zwischen Hornabrieb und motorischer Aktivität der Przewalskipferde ist der für das gesamte Jahr berechnete Korrelationskoeffizient mit $r=-0,05$ ($n=12$) so gering, dass sich ein Einfluss der Bewegungsaktivität der Pferde auf den Hornabrieb nicht nachweisen lässt. Insbesondere am Jahresanfang ergeben sich Divergenzen, die auf einer Energiesparstrategie mit sehr starker Einschränkung der Bewegungsaktivitäten (Scheibe und Streich 2003) bei gleichzeitig erhöhtem Hornabrieb aufgrund des harten gefrorenen Untergrundes in der kalten Jahreszeit beruhen.

Tragrandausbrüche (Chipping)

Durch (physiologische) Tragrandausbrüche wurde der Hornverlust (zusätzlich zum Hornabrieb) sowohl bei den Przewalskipferden als auch bei den Liebhenthaler Hauspferden erheblich verstärkt. Beim Hornverlust durch (nicht krankhafte) Tragrandausbrüche (Chipping im englischen Sprachgebrauch)

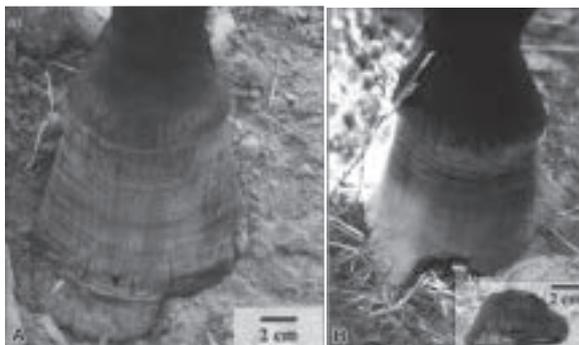


Abb 6. Tragrandausbrüche (Chipping) am Huf von Przewalskipferden. (Photo links: Dr. Schnittker)
Chipping in two hooves of Przewalski horses

brechen nach Bildung schmerzfreier Längsspalten und einer Querspalte Hornchips mit einer Breite von mehreren Zentimetern (ca. 4 bis 8 cm) und einer fast regelmäßigen Höhe (Länge) von ca. 4 cm aus der Hornwand (Hufplatte) heraus und daraus resultiert ein plötzlicher Hornverlust im sehr beträchtlichem Ausmaß von ca. 4cm (Abb. 6). Dieser Vorgang (Chipping) beginnt am Huf Rücken und setzt sich trachtenwärts fort. Er ist in Zeiten trockenen und heißen Wetters bei abnehmender Hornfestigkeit und zunehmender Hornbrüchigkeit erheblich intensiviert.

Die physiologischen Tragrandausbrüche (Chipping) kündigen sich innen und später auch außen an der Hufplatte durch einen proximalen Querbruch und viele Längsspalten an, die distal nahe am Tragrand liegen. Zwei besonders deutliche

Längsspalten, die im Abstand von 4 bis 8 cm voneinander liegen, vergrößern sich zu vorderen bzw. hinteren longitudinalen Abgrenzungsbrüchen, die sich bis zum Querbruch ausdehnen und so ein Herausbrechen der dazwischen liegenden Hornplatte als „Chip“ ermöglichen (Chip=Überstand der Hufplatte zwischen Sohlenhorn und Tragrand, der zwischen den longitudinalen Grenzbrüchen aus der Hufkapsel heraus bricht). Der Querbruch befindet sich in Höhe einer quer verlaufenden Sollbruchlinie, die entlang der Unterfläche des Sohlenhorns liegt (Abb. 6). Die in diese Sollbruchlinie hinein geschobenen Hornmassen der Hufplatte sind für einen Querbruch förderlich, sofern hier Hornmassen unterschiedlicher Qualität aneinander stoßen (Winterhorn an Sommerhorn) bzw. solide Hornmassen an brüchige (ausgetrocknete) Hornmassen minderer Qualität grenzen (Hornalterung mit Qualitätsverlust, siehe König und Budras 2003). Auch in Fütterungsringen und Hufrehe-Ringen grenzen Hornmassen unterschiedlicher Hornqualität aneinander. Sie sind deshalb bevorzugte Querbruchlinien.

Der Hornüberstand entsteht nach dem Chipping, weil die (überstehenden) Hornmassen der Hufplatte etwa doppelt so schnell nachgeschoben werden wie das Sohlenhorn (etwa 4 bis 5mm pro Monat (Geyer 2012)). Zwischen den Hornmassen mit unterschiedlicher Hornbildungsrate fungiert die Weiße Linie als „Verschiebeschicht“. Im Blättchenhornanteil der Weißen Linie, der als radiäre Streifung mit bloßem Auge kenntlich ist, ändern im Zuge des Hornnachschiebes die zunächst nach schräg oben ausgerichteten Hornzellen ihre Ausrichtung nach schräg unten, was auf dem Längsanschnitt durch die Weiße Linie besonders im Polarisationsmikroskop klar erkennbar ist. Durch die Umkehr in der Hornzellausrichtung verliert das Horn der Weißen Linie allmählich seine Integrität und bröckelt ab. Dadurch geht die Weiße Linie distal des Sohlenhorns fast vollständig verloren. Spärliche Reste sind noch an der Innenfläche der Chips als Längsleisten erkennbar. Dabei handelt es sich um erhalten gebliebene Insertionsabschnitte der Wandhornblättchen, die benachbarte innere Kronhornröhrchen umschlingen und sich so verankern.

Sohlenhorndicke

Bei den untersuchten Przewalskipferden besitzt das Sohlenhorn, das an die noch intakte Weiße Linie grenzt und oberhalb des „Überstandes“ der Hufplatte und des Querbruches liegt, eine sehr beträchtliche Dicke von ca. 2 bis 3cm (vermessen wurden sechs Hufe in Höhe der Hufbeinspitze). Es besteht zudem fast vollständig aus wachsartigem solidem Horn und lässt im Gegensatz zu den entsprechenden Verhältnissen beim Hauspferd nur sehr wenig Zerfallshorn erkennen. Nach unseren Messungen ist bei Przewalskipferden das Sohlenhorn zwei oder gar dreimal so dick wie das der Hauspferde (Abb. 3).

Huflänge am Huf Rücken (sog. Zehenlänge)

Um ca.1,5 cm, nämlich die Differenz der Sohlenhorndicke (zwischen Przewalskipferd und Hauspferd) ist der Huf der Przewalskipferde mindestens länger als der Huf gleichgroßer Hauspferde (der Huf der untersuchten Przewalskipferde hat seine maximale Länge von 12 -13 cm vor dem Chipping im

Mai und seine minimale Länge von ca. 9-10 cm nach Beendigung des Chipping zu Anfang des Herbstes). Unsere Messungen an den Liebenthaler Hauspferden ergaben durchschnittliche Maximalwerte der Hufnlänge von 8,8 cm im Mai und Minimalwerte von 7,8 cm im August.

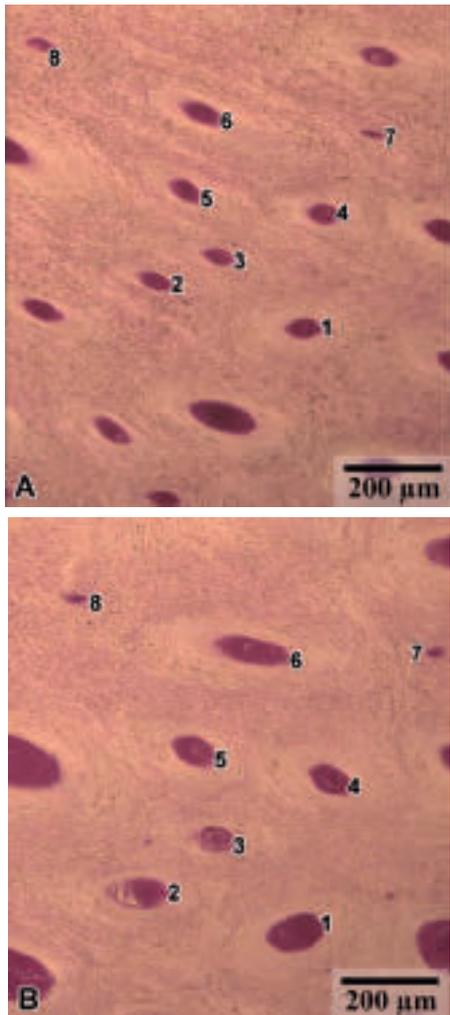


Abb. 7 Architektur des Hornzellverbandes im äußeren Kronhorn in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Hornbildung. Die Ziffern 1-8 geben jeweils identische, jedoch in verschiedenen Jahreszeiten gebildete Hornröhrchen bei gleicher Vergrößerung an. Im „Winterhorn“ (A) sind die dicht nebeneinander stehenden Hornröhrchen und insbesondere das Röhrchenmark vergleichsweise klein, während das „Sommerhorn“ (B) durch relativ große Hornröhrchen mit einem großen Röhrchenmark gekennzeichnet ist. Lichtmikroskopie, native Präparate, PAS-Reaktion.

Variation in architecture of hoof horn in the outer zone of the coronary horn (hoof wall) dependent on the time of horn production. Numbers 1-8 indicate identical horn tubules at the same magnification that were produced during different times of the year. "Winter horn" (A) is characterized by densely arranged horn tubules with a narrow central medulla whereas in "summer horn" (B) we find thick tubules with a prominent large central medulla. Micrograph of horn sections stained with periodic acid Schiff (PAS) reaction.

Hornqualität

Für die Hornqualitätsbeurteilung unter Bezug auf die Architektur des Hornzellverbandes (Abb. 7) ist das Verhältnis von Harthornanteilen (Röhrchenrinde) zu Weichhornanteilen (Röhrchenmark) maßgebend. Bei den Przewalskipferden sind

im Winterhorn eine Volumenzunahme des Harthornanteils, (der hellen Röhrchenrinde) sowie eine Abnahme des Weichhornanteils (des dunklen Röhrchenmarks) erkennbar. Im Sommerhorn ist es genau umgekehrt (abgebildet ist ein und dasselbe Hornareal, das im Winter bzw. im Sommer gebildet

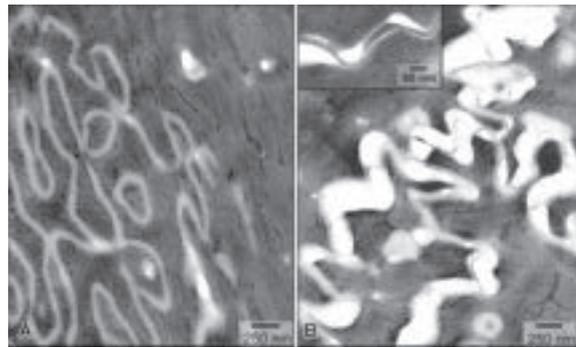


Abb. 8 Interzellularrspalt im Zwischenröhrchenhorn des äußeren Kronhornes von ein und demselben Przewalskipferd in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Hornbildung. Bei gleicher Vergrößerung zeigt das „Winterhorn“ (A) einen gleichmäßig engen Interzellularrspalt, der größtenteils mit einem feinkörnigen Interzellularkitt ausgefüllt ist. Im „Sommerhorn“ (B) treten vermehrt optisch leer erscheinende Erweiterungen des Interzellularrspaces auf, die durch Mikrorisse im Grenzgebiet zwischen den Hornzellen und dem Interzellularkitt entstehen. Der Interzellularkitt durchzieht den erweiterten Interzellularraum mäanderförmig (Inlay). Transmissionselektronenmikroskopie, native Präparate.

Electron micrographs showing the intercellular space between horn cells in the intertubular horn of the outer zone of the coronary horn (hoof wall) in one Przewalski horse at two different points of time. At identical magnification the "winter horn" (A) shows an evenly narrow intercellular space filled for the most part with fine granular intercellular cement. In the "summer horn" (B) we find a large number of vacuolated electron-lucent dilations of the intercellular space. They are caused by micro separation at the junction of horn cell surface and intercellular cement (inset).

wurde). Die identischen Hornröhrchen, die im Winter vermehrt aus Harthornanteilen (Röhrchenrinde) und im Sommer vermehrt aus Weichhornanteilen (Röhrchenmark) bestehen, wurden in der Abb. 7 identisch nummeriert.

Für die Beurteilung der Qualität des Hufhorns anhand struktureller Kriterien wird üblicher Weise ein Vergleich zwischen der Hornstruktur und einer Ziegelmauer heran gezogen. Dabei entsprechen die Hornzellen den Ziegelsteinen und der Interzellularkitt dem Ziegelmörtel.

Das äußere Kronhorn der untersuchten Przewalskipferde besitzt im Sommer zwischen den Zellen nur eine geringe Verankerung durch aufgelockerten (schaumig erscheinenden) Interzellularkitt und das ist vergleichbar mit locker gefügtem (schaumigen) Mörtel, der die Rissigkeit einer Mauer verursacht. Im Winterhorn ist es umgekehrt. Es liegt ein festeres Horngefüge vor (Abb. 8).

Die morphologische Bewertung korreliert mit einer mechanischen Härteprüfung mit dem Härteprüfgerät nach Shore C, das zur Messung von Holzstärke industriell eingesetzt wird und bei den untersuchten Przewalskipferden folgende Messwerte erbrachte: „Winterhorn“: 88-99 (Mittel 94,15) Shore C-Einheiten, „Sommerhorn“: 86-97 (Mittel 90,69) Shore C-Einheiten; gemessen auf einer Scala von 1 bis 100.

Diskussion

Die jahreszyklischen Unterschiede in der Hornbildung, Hornabnutzung und der Hufform sowie der Hufhornqualität sind derartig gravierend, dass viele Zahlenangaben in der Literatur für Wildpferde oder wildlebende Hauspferde, die keinen Bezug zur Jahreszeit enthalten, nahezu wertlos erscheinen.

In der Diskussion über die Eignung unserer Versuchstiere können wir auf den großen Vorteil eines einheitlichen (engen) Genoms verweisen, das auf insgesamt 13 Przewalskipferden (der „Fohlentransporte“) basiert und über ca. 20 Generationen „gefiltert“ wurde. Das einheitliche genetische Material hat sicherlich dazu beigetragen, dass unsere Befunde mit sehr wenigen individuellen Abweichungen im Vergleich zu den weit streuenden Ergebnissen anderer Autoren in der Hornbildungsrate, Hornabnutzung und Hornqualität durchaus herausragen. Damit ist auch die relative geringe Tierzahl weniger kritisch im Hinblick auf die Aussagekraft der Daten zu sehen.

In der Diskussion über die Eignung der angewandten Methoden können wir auf den großen Vorteil verweisen, dass wir auf ein Semireservat zurückgreifen konnten. Dadurch hatten wir für die Pferde absolut gleiche Umwelt- und Haltungsbedingungen und konnten außerdem die apparative Ausstattung sowie eine umfangreiche, über mehrere Jahre hinweg geführte Datensammlung nutzen. Durch die Lage tief im Wald konnten störende äußere Einflüsse z.B. durch Besucher minimiert werden.

Mit einem Semireservat wird besonders das Primäranliegen verfolgt, die Zoogeborenen Przewalskipferde für die Wiederauswilderung gut vorzubereiten und darüber hinaus mit Messdaten objektiv auf ihre Eignung für dieses Unternehmen zu prüfen. Diese Vorbereitung besteht in der selbständigen Entwicklung eines typischen Wildtierverhaltens (Scheibe et al. 1999) und geht mit der Etablierung eines stabilen Jahresrhythmus inkl. eines zyklischen Strukturwandels am Huf einher. Dabei entwickelt sich der pflege- und bearbeitungsbedürftige Huf im Zoo geborener Przewalskipferde innerhalb eines Jahres zum sich selbst erhaltenden Huf der halbwild gehaltenen Urwildpferde, die ohne Hilfe durch den Hufschmied oder Tierarzt auskommen. Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Reduzierung (keineswegs Eliminierung) von Narkosen (Immobilisierungen), die in vielerlei Hinsicht mit Stress für die Pferde einhergehen und beim Umgang mit Wildpferden einer speziellen Ausbildung bedürfen (Walzer et al. 2006).

Bei Hauspferden werden verschiedene Haltungsformen im Hinblick auf die Hufhornqualität verglichen (Pütz 2006). Sehr schwache Anzeichen eines Jahresrhythmus sind bei der Offenstallhaltung angedeutet und eine Hufbearbeitung ist erforderlich. Die Untersuchung der Liebenthaler Hauspferde, die seit mehr als 50 Jahren unter ganz ähnlichen halbwildlichen Bedingungen gehalten werden wie die Przewalskipferde, ergaben auch hinsichtlich der Hornbildungsrate und des Hornverlustes ähnliche saisonale Schwankungen wie bei den Przewalskipferden. Die in den meisten Monaten um 1-2 mm geringere Ausprägung der Hornbildungsrate und des Hornverlustes sowie die Unregelmäßigkeiten beim Chipping dürften auf genetischen Eigenheiten beruhen.

Hauspferde, die seit Jahrhunderten in der Wildnis leben (Wildpferde deutschen Ursprungs in Namibia, amerikanische

Mustangs und australische Wildpferde) müssen mit sich selbst erhaltenden („natural“) Hufen gänzlich ohne menschliche Hilfe auskommen. Besonders in Australien lassen sie aber sehr gravierende Adaptionen und insbesondere einen tiefgreifenden Umbau der Hufform und Hornstärke als Reaktion auf stark unterschiedliche Habitate und deren Bodenverhältnisse erkennen (Hampson et al. 2012). Diese adaptiven Veränderungen beruhen, wie Hampson basierend auf einer sehr großen Tierzahl gezeigt hat, primär auf extremen Umweltbedingungen und sehr hoher Laufaktivität.

Das Phänomen der physiologischen Tragandausbrüche (Chipping) ist als bedeutender Faktor des jahreszyklischen Strukturwandels bei barhuf laufenden Hauspferden und Urwildpferden zu werten (Schnittker 2004). Während und nach diesem Vorgang ist der neu entstandene Tragrand noch unregelmäßig oder erscheint stellenweise sogar gezahnt. In Zoologischen Gärten und Wildgehegen sind derartige Erscheinungen unerwünscht, weil sie von vielen Zoo-Besuchern als Ausdruck eines ungepflegten oder gar krankhaften Hufes fehl gedeutet werden. Eine Glättung durch den Hornabrieb erfolgt (vorteilhaft auf hartem Boden) selbständig und führt zum viel gerühmten, harmonisch und fast makellos erscheinenden Huf der Przewalskipferde (Volf 1996), der - nicht bei allen - als fast ideales Modell für die Hufzubereitung der Hauspferde gilt (Hampson et al. 2011, Ovnicek et al. 2003). Dieser Modellcharakter gilt nach unseren Ergebnissen nur für eine etwa einmonatige Zeitspanne direkt nach dem Chipping. Nur in dieser Zeit bestehen Übereinstimmungen in der Belastungsfläche durch die Ausbildung einer Tragefläche (Tragrand, Weiße Linie und Außenrand des Sohlenhorns [Scherer 2012]), während in der übrigen Zeit lediglich ein durch das Kronhorn gebildeter Tragrand existiert.

Als auslösender Faktor für Chipping gilt eine (mittlere) Bewegungsaktivität, nicht jedoch extrem intensive und/oder andauernde Aktivitäten. Bei andauernder forcierter Aktivität ist in Abhängigkeit vom Untergrund der Abrieb derartig hoch, dass kein Hornüberstand für Tragandausbrüche übrig bleibt. Bei extremer Bewegungseinschränkung kann sich die stark verlängerte Hufplatte regelrecht einrollen, was Pollitt (1995) zur Benennung als Aladin's Pantoffeln und zu schockierenden Abbildungen extrem vernachlässigter Hufe inspirierte.

Vergleiche zwischen Hufen von Przewalski- und Hauspferden hinsichtlich Hornbildungsrate, Hornverlust, Hufform und Hornqualität sind besonders aufschlussreich, wenn die Tiere unter gleichen Haltungsbedingungen leben:

1. Die saisonale Ausprägung von Hornbildungsrate und Hornverlust (inkl. Chipping) waren bei den untersuchten Przewalskipferden im Semireservat ähnlich wie bei den Liebenthaler Hauspferden, allerdings zeigten die Liebenthaler Hauspferde für beide Parameter in den meisten Monaten einen um 1–2 mm geringeren Wert, obwohl beide Pferdeguppen unter fast gleichen Haltungsbedingungen lebten. Deutlichere Unterschiede im Jahresverlauf sind zu erwarten, wenn man die Haltung unter halbwildlichen Bedingungen mit Zoonhaltung bzw. Stallhaltung vergleicht.

2. Die Hufhornqualität des äußeren Kronhorns war unter Berücksichtigung des Jahresrhythmus bei Przewalskipferden deutlich besser als bei Hauspferden (König und Budras 2003, Patan und Budras 2003). Bei Hauspferden in Stallhaltung

konnten König und Budras (2003) keine jahreszyklischen Veränderungen in der Hornqualität feststellen.

3. Die Hornsohle bietet wegen enormer Dicke bei Przewalskipferden einen besseren Schutz für die darüber liegenden Strukturen (besonders für das Hufbein) als die weitaus dünnere Hornsohle der Hauspferde (Hampson et al. 2011). Eine dünne Hornsohle bedeutet besonders im Hinblick auf die Hornsohlenperforation durch das rotierende Hufbein im Zuge der chronischen Hufrehe eine große Gefahr für das Hufbein durch Infektion und Abszedierung im Bereich der Hufbeinspitze (Pollitt 1995). Bei Przewalskipferden besteht diese Gefahr angesichts der enormen Dicke des Sohlenhorns nicht und womöglich wurde die Spontanheilung bei drei an chronischer Hufrehe erkrankten Przewalskipferden im Jahre 2000 durch diesen Faktor begünstigt (Budras et al. 2001). Darüber hinaus bietet eine dicke Hornsohle eine besonders dicke Dämmschicht gegen thermische Einflüsse. Gegen Hitze ist beim Hufbeschlag mit Anwendung des Heißbeschlages bei Hauspferden der Schutz durch eine dünne Hornsohle oft unzureichend (Geyer 2012). Eine besonders dicke Hornsohle bietet in Zusammenarbeit mit üppig ausgebildeten arteriovenösen Anastomosen im Bereich der Huflederhaut außerdem einen guten Bodenschutz gegen Kälte.

4. Die Dicke (Höhenausdehnung) der Weißen Linie, die mit der Dicke des Sohlenhorns übereinstimmt (von Zadow und Budras 2008), ist für die Barrierefunktion zum Schutz des lebenswichtigen Hufbeinträgers beim Przewalskipferd besonders günstig.

5. Die Anfälligkeit gegen Hufkrankheiten war während der 20-jährigen Existenz des Semireservates unter den Przewalskipferden sehr gering. Im Gegensatz dazu sind histologisch wahrnehmbare Veränderungen, wie sie für Hufrehe typisch sind, bei wildlebenden Pferden in australischen Halbwüstengebieten nach unseren Maßstäben extrem hoch (Hampson 2012). Von 58 zufällig ausgewählten Pferden ließen 25 Tiere solche Veränderungen erkennen.

Bei abschließender vergleichender Betrachtung sind am Huf von *Equus przewalskii* und *Equus caballus* zwar qualitativ-graduelle Unterschiede, aber keine substantiellen Abweichungen erkennbar, die den von McGreevy (2012) postulierten engen Verwandtschaftsgrad in Zweifel ziehen könnten. Da der Huf von Przewalskipferden deutliche Vorzüge im Vergleich mit dem der Hauspferde erkennen lässt, erscheint bei der Zuchtauswahl die Forderung "zurück zum Ursprung des Urwildpferdes" für gewisse Merkmale durchaus gerechtfertigt.

Literatur

Budras K.-D., Scheibe K. M., Patan B., Streich W. J. und Kim K. (2001) Laminitis in PrzewalskiHorses kept in a semireserve. *J. Vet. Sci.* 2, 1-7
 von den Driesch A. (1989) Geschichte der Tiermedizin. Callwey, München
 von den Driesch A. (2010) Geschichtlicher Abriss zur Pferdeanatomie. In: Wissdorf H., H. Gerhards, B. Huskamp, E. Deegen: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. Schaper Verlag, Hannover
 Frohnes A.-K. und Budras K.-D. (2001) Endogene Einflussfaktoren auf die strukturabhängige Hornqualität im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment des Pferdehufes. *Pferdeheilkunde* 17, 1-7

Geyer H. (2012) Veränderungen am Huf durch Hufbeschlag. Vortragsband, 12. Kongress für Pferdemedizin und -chirurgie. Genf, 17-21
 Hampson B. A., De Laat M. A., Mills P. C., Connelley A. und Pollitt C. C. (2011) Sole depth and palmar surface weight bearing characteristics of the Equine foot. *Am.J. Vet. Res.* 72, 727-735
 Hampson B. (2012) The relevance of the feral Horse foot to domestic foot care. Vortragsband, 12. Kongress für Pferdemedizin und -chirurgie. Genf, 10-12
 Hanneder S. (2002) Mensch und Pferd – neue Aspekte einer alten Beziehung. Universitätsdruck der FU Berlin
 König B. und Budras K.-D. (2003) Struktur und klinisch-funktionelle Bedeutung der Kronhornstratifikation unter besonderer Berücksichtigung von Hornreifung, -alterung, und -zerfall am Pferdehuf. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 110, 433-442
 McGreevy P. (2012) *Equus caballus* and *Equus przewalskii*. In: McGreevy P.: *Equine behavior*. 2. ed., Saunders, Edinburgh, London, 2-3
 Ovnicek G. D., Page B. T. und Trotter G. W. (2003) Natural balance trimming and shoeing: its theory and application. *Vet. Clin. Equine* 19, 353-377
 Patan B. (2001) Saisonaler Einfluss auf Hornbildungsrate, Hornabrieb und Hornqualität in der Hufwand von Przewalskipferden. Diss., Freie Universität Berlin, FB Veterinärmedizin
 Patan B. und Budras K.-D. (2003) Segmentpezifitäten am Pferdehuf – Teil2: Zusammenhang zwischen Hornstruktur und mechanisch-physikalischen Horneigenschaften in den verschiedenen Hufsegmenten. *Pferdeheilkunde* 19, 177-184
 Pollitt C. C. (1995) *The horse's foot*. Mosby-Wolfe, London
 Pütz A. (2006) Monitoring von Saisonalen, Haltungs- und Domestikationsbedingten Einflüssen auf die Hornqualität des Pferdehufes. Diss. Med. Vet. Berlin
 Schäfer M. (2000) Handbuch Pferdebeurteilung, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart
 Scheibe K. M., Schleusner Th., Berger A., Eichhorn K., Langbein J., Dal Zotto L. und Streich W. J. (1998) ETHOSIS® – new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55, 195-211
 Scheibe K. M., Berger A., Budras K., Bull J., Eichhorn K., Dehnhard M., Kalz B., Lange B., Patan B., Scheibe A., Sieling C., Streich W. J. und Weber S. (1999) Verhaltensbiologische Untersuchungen an Przewalskipferden in einem Semireservat - was können wir für Wiederansiedlungsprojekte lernen? Vortragsband, Internationales Symposium "Naturschutz und Verhalten", Göttingen
 Scheibe K. M. und Streich W. J. (2003) Annual rhythm of body weight in Przewalski horses (*Equus ferus przewalskii*). *Biol. Rhythm Res.* 34, 383-395
 Scherer M. (2012) Ausführung des Beschlages bei gesunden Hufen In: Litzke L.-F. und B. Rau: *Der Huf*. Enke, Stuttgart
 Schnittker P. (2004) Der Selbstregulierungsmechanismus der Huflänge und Hufform beim Przewalskipferd (*Equus ferus przewalskii*). Diss., Freie Universität Berlin, FB Veterinärmedizin
 Volf J. (1996) *Das Urwildpferd*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
 Walde C. M. (2009) Genome sequence, comparative analysis and population genetics of the domestic horse. *Science* 326, 865-867
 Walzer C., Baumgartner R., Robert N., Sukhbaatar Z. und Baigalmaa N. (2000) Medical aspects in Przewalski horse (*Equus przewalskii*) reintroduction to the Dzungarian Gobi, Mongolia. *Proc. Am. Ass. Zoo Veterinarians* 7-21
 Walzer C., Kaczinsky P., Ganbaatar O., Lengger J., Enkhsaikhan N. und Lkhagasuren D. (2006) Capture and Anaesthesia of Mongolian equids- the Przewalski's Horse (*Equus ferus przewalskii*) and Khulan (*E. hemionus*). *Mongolian J. Biol. Science* 4, 19-29
 von Zadow C. H. und Budras K.-D. (2008) Linea alba unguis (Zona alba) – die weiße Linie des Pferdehufes in ihrer Semizirkumferenz. *Pferdeheilkunde* 24, 306-312

Prof. Klaus-Dieter Budras
 Loebellstraße 20, 14165 Berlin
 kbudras@aol.com