

V. DISKUSSION

Zuerst werden die in dieser Studie angewandten Methoden zur Beschreibung der Hufstruktur sowie die adspektorische Beurteilung und das Scoring der untersuchten Pferdehufe diskutiert. Im Anschluss daran werden die unterschiedlichen Hufformen, insbesondere deren saisonale Schwankungen, die Hornbildungsrate und die Ergebnisse der physikalischen Materialprüfung diskutiert. Dann werden die Ergebnisse der Blutuntersuchungen, der Fettsäureanalyse und der morphologischen Untersuchungen (Licht- und Rasterelektronenmikroskopie) in den Zusammenhang mit der Hufhornqualität gestellt. Die Einflussfaktoren auf die Hornqualität wurden in der vorliegenden Arbeit erstmalig in diesem Umfang und in Kombination mit einer Feldstudie mit Pferden unterschiedlicher Haltungsbedingungen untersucht. Die Boxenhaltung entspricht dabei eher der Haltung moderner Sportpferde, während die Offenstallhaltung heutzutage meist im Bereich der Freizeitreiterei (Ponyhaltung, so genannte Robusthaltung) anzutreffen ist.

Ein weiterer Schwerpunkt der Diskussion ist die Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse mit den Angaben über die Hufe von Przewalskipferden (PATAN, 2001; SCHNITKER, 2004). Da es so gut wie unmöglich ist, unter domestizierten Pferden einen „ursprünglichen“ Huf zu finden, kann der Huf dieser Wildpferde als annähernd „ursprünglich“ angesehen werden, weil dieser noch am ehesten der Urform des Pferdehufes entspricht (SCHNITKER, 2004) und sich das Przewalskipferd hervorragend eignet, um die durch Domestikation bedingten Veränderungen des Hufes zu untersuchen (PATAN, 2001). Dieser Vergleich ermöglicht eine Abgrenzung zwischen domestikationsbedingten Veränderungen und anderen Einflussfaktoren, wie Ernährung und Haltung. Jahreszeitlich bedingte Einflüsse (besonders im Vergleich zum Wildpferd) auf die Hufhornqualität sind hier von besonderem Interesse und auch die Gegenüberstellung dieser saisonalen Faktoren zwischen den unterschiedlichen Haltungsbedingungen soll hier besondere Beachtung finden.

Vorteil der vorliegenden Arbeit ist die Vielfalt der angewandten Methoden, die eine Fülle an Befunden lieferten und so selbst geringe Veränderungen der Hornqualität erfassbar machten. Diese Untersuchungen sind teils auch als Fallstudien anzusehen. Deshalb ist es nicht möglich, alle Befunde im Detail zu diskutieren, weshalb die oben genannten Diskussionsschwerpunkte ausgewählt wurden. Im Rahmen dieser Arbeit soll also ein möglichst umfassendes Bild über die auf die Hornqualität des Pferdehufes einwirkenden Einflussfaktoren erstellt werden, das auch als Grundlage für die Praxis, wie z.B. in der Therapie von Hufhorndefekten, anwendbar ist.

Diskussion der Methoden

Da die Hornqualität durch die komplexen Differenzierungsprozesse der verhornenden Epidermis bestimmt ist (FROHNES, 1999), wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit sehr umfangreiche Untersuchungsmethoden angewandt, um eine Beurteilung der auf die Hornqualität einwirkenden endo- und exogenen Faktoren möglich zu machen. Diese Beurteilung der verschiedenen Faktoren soll einem besseren Verständnis von Hufproblemen dienen. Eingehende Untersuchungen an diesem und anderen Instituten dienen als Grundlage dieser Arbeit (FROHNES, 1999; KÖNIG, 2001; PATAN, 2001; SCHNITKER, 2004), wobei diese vornehmlich morphologisch (licht- und elektronenmikroskopisch) orientiert waren. Auf eine eingehende Untersuchung struktureller Parameter, wie von PELLMANN und Mitarbeitern (1993) beschrieben (Architektur, inter- und intrazelluläre Faktoren), wurde daher bewusst verzichtet. Der Aufwand bezüglich histologischer und rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen wurde in dieser Studie deshalb geringer gehalten und die Arbeit vielmehr klinisch im Rahmen einer Feldstudie mit lebenden Probanden durchgeführt. Die in diesem Institut gewonnenen morphologischen Erkenntnisse zum Aufbau des Hufes und die hier etablierte Methodik wurden daher als Basis für die eigenen Untersuchungen herangezogen.

Probanden und Probenmaterial

Die Gewinnung der Proben fand im Rahmen eines Feldversuches statt, wobei Pferde mit guter sowie mit schlechter Hufhornqualität ausgewählt wurden. Die Kombination aus klinischer Studie zusammen mit den unterschiedlichen Laboruntersuchungen und morphologischer Untersuchung bietet einen Vorteil im Vergleich zu anderen Untersuchungen, ähnelt aber den Studien von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004), die vergleichbar mit den eigenen Untersuchungen die Hufe lebender Wildpferde und auch unterschiedliche Haltungsbedingungen untersuchten.

Zum Monitoring der Hufhornqualität über den Untersuchungszeitraum wurden die Hufclippings gesammelt, die im Rahmen der routinemäßigen Schmiedearbeit im Abstand von sechs bis acht Wochen anfielen. Die Probennahme wurde über den Zeitraum eines Jahres durchgeführt, um eventuelle saisonale Veränderungen der Hornqualität beurteilen zu können. Nach REILLY (1995) müssen Ergebnisse basierend auf Hufclippings als Probenmaterial sehr vorsichtig interpretiert werden, da diese nur die eng begrenzte Hornqualität widerspiegeln; deshalb betont der Autor die Wichtigkeit der Untersuchung von ganzen Hufen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit musste deshalb ein Kompromiss bezüglich dieses Probenmaterials

Diskussion

eingegangen werden, da eine solche Studie ausschließlich anhand dieser Hufclippings durchgeführt werden kann. Ganze Hufe als Probenmaterial, die z.B. von Schlachtpferden gewonnen werden, lassen eine Untersuchung der jahreszeitlichen Einflüsse auf die Hornqualität nicht zu.

Ein weiteres Handicap eines Feldversuches sind äußere Umstände, wie die Kooperationsbereitschaft der Pferde, welche vielfach das Ausmessen der Hufe erschwerte. Ferner waren Faktoren wie der Verkauf eines Pferdes und die durch den Unfall eines Pferdes bedingte Euthanasie nicht zu beeinflussen. Daneben führte ein neuer Reithallenboden mit stark abschleifender Wirkung auf das Hufhorn bei den Pferden in Boxenhaltung dazu, dass über mehrere Wochen eine Hornprobennahme bei diesen Pferden nicht möglich war.

An dieser Studie nahmen Pferde und Ponys verschiedener Altersklassen, Rassen und Nutzungsrichtungen teil. Dabei handelte es sich um vierzehn Wallache und sechs Stuten. Dies erlaubte einerseits eine Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf die Hornqualität in Abhängigkeit von Alter, Rasse, Nutzung und Geschlecht, andererseits war die Probandengruppe daher als etwas inhomogen anzusehen.

Die Hufclippings wurden unmittelbar nach der Hufkorrektur gesammelt, grob gesäubert und, um Feuchtigkeitsverlusten entgegen zu wirken, in Gefrierbeuteln luftdicht verpackt. Die Untersuchung der physikalischen Parameter wurde innerhalb weniger Stunden vorgenommen, da eine zu lange Lagerung im tiefgefrorenen Zustand zu gefrierbedingten Veränderungen des Hufhornes führen kann und längerfristiges Einfrieren die Hornproben austrocknet (SCHNITKER, 2004). Für weitere Untersuchungsmethoden wurden die Hornproben daraufhin bei -28 °C tiefgefroren gelagert. Bei Vergleichen mit den Befunden anderer Untersucher muss stets die Probenentnahmestelle beachtet werden, vor allem in der proximodistalen Ausdehnung des Hufes. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich Hornproben aus Tragrandnähe zur Verfügung standen, war ein direkter Vergleich mit anderen Ergebnissen, basierend auf der Untersuchung ganzer Hufe, teils nur unter Vorbehalt möglich. Die Bearbeitung der Hufclippings für die histologischen Untersuchungen erwies sich als verhältnismäßig schwierig, da die Proben teils durch Einstreu, Mist und Sand stark verunreinigt waren und eine Reinigung mit Wasser aufgrund einer möglichen Verfälschung der Ergebnisse der physikalischen Materialprüfung nicht zulässig und daher nur eine grobe Reinigung möglich war.

Auch in Bezug auf die Mineralstoff- und Spurenelementanalyse im Blut mussten Kompromisse eingegangen werden. Aus Gründen des Tierschutzes und der Vermeidung unnötiger Belastungen für die an dieser Studie teilnehmenden Pferde und Ponys musste auf

Blutproben zurückgegriffen werden, die gemäß § 8 des Tierschutzgesetzes „nach erprobtem Verfahren zum Zweck der Erkennung von Krankheiten oder Körperschäden“ durch den behandelnden Tierarzt im Rahmen einer routinemäßigen Gesundheitskontrolle ohnehin gezogen wurden. So konnten lediglich zu Beginn der Studie, nach etwa sechs Monaten und am Ende der Studie nach einem Jahr Blutparameter untersucht werden und leider nicht parallel zur regelmäßigen Hornprobennahme. Dennoch können über den gesamten Zeitraum der Studie die jahreszeitlichen Schwankungen der verschiedenen Blutparameter mit denen der Hornqualität verglichen werden.

Adspektorische Beurteilung der Pferdehufe und Hufscoring

Zur Beurteilung klinisch signifikanter Veränderungen der Hornqualität wurden sämtliche zuvor gereinigten Hufe am Anfang der Studie, nach sechs Monaten und am Ende der Studie aus fünf Perspektiven fotografiert. Für eine objektive Beurteilung der Hornqualität musste eine reproduzierbare Methode gefunden werden, welche eine mögliche Voreingenommenheit des Untersuchers ausschließt. Daher wurde ein „Hufscoring“ (siehe Kapitel „Material und Methoden“) entwickelt, anhand dessen eine anonymisierte Benotung der Hufe möglich war. Diese Huffotos sind insofern von besonderer Wichtigkeit, als dass an allen Terminen die Hufe aller Pferde fotografiert wurden. Im Rahmen der anderen Untersuchungsmethoden fehlten zu jedem Termin Proben einiger Pferde aufgrund oben genannter Probleme bei der Sammlung der Hufclippings.

Hufform

Die eigenen Messungen des Zehenwandwinkels, der Hufbreite, der Huflänge und der Trachtenhöhe erfolgten in Anlehnung an die Angaben in der Literatur (NEUBERT, 2001; SCHNITKER, 2004). Allerdings konnten die Hufe nur nach deren Korrektur vermessen werden und nicht, wie anfangs geplant, vor und nach der Hufzubereitung, da dieses mit dem Arbeitsablauf des Hufschmiedes nicht vereinbar war. Aus demselben Grund wurden lediglich vier Hufparameter bestimmt. Die von SCHNITKER (2004) untersuchten Hufe von Wildpferden aus Zoologischen Gärten wurden durch Zoopersonal bearbeitet und folglich liegen in diesem Fall ähnliche Bedingungen wie bei den untersuchten Hauspferden vor.

Hornbildungsrate

Zur Bestimmung der Hornbildungsrate wurden nur zwei Pferde aus der Offenstallhaltung exemplarisch herangezogen, da die Pferdebesitzer einer Markierung der Hufe nicht zustimmten. Daher mussten bereits vorhandene Querspalten an der Vorderwand der Hufe zur Messung herangezogen werden. Die Distanz dieser Hufhorndefekte zum Kronrand wurde als Ausgangspunkt für die Messung der Hornbildungsrate verwendet. Zwischen den einzelnen Hufsegmenten verzeichnet LEU (1987) keinerlei Unterschiede bezüglich der Hornbildung, weshalb zur Erfassung der Hornbildungsrate Messungen der Vorderwand des Hufes, also des Zehenrückenteiles, ausreichen. Auch wurde die Anzahl der Pferde und Ponys, von denen an den verschiedenen Probennahmeterminen überhaupt Horn gesammelt werden konnte, als Hinweis auf die Rate der Hornbildung verwendet. Diese Untersuchung der Hornbildungsrate muss daher als Kompromiss angesehen werden, da eine genaue Bestimmung der Hornbildungsrate aller teilnehmenden Pferde nicht möglich war.

Physikalische Materialprüfung

Die eigenen Messungen der Hornhärte wurden vor und nach einer Trocknung mittels eines Shore-C-Härteprüfgerätes vorgenommen. Dabei wurden die ungetrockneten Proben so schnell wie möglich nach der Probennahme untersucht, da es nach HINTERHOFER und Mitarbeitern (1998) wichtig ist, Hornproben von physiologischem Wassergehalt zu untersuchen, um eine in vivo Situation zu repräsentieren. Das Prüfgerät misst den Widerstand eines Materials gegen das Eindringen einer kegelförmigen Stahlspitze. Dabei wird durch die Eindringtiefe das Maß der Hornhärte bestimmt. Für eine praktische Beurteilung der Hufhornqualität durch mechanisch-physikalische Prüfverfahren wird der Härtemessung die größte Bedeutung zugesprochen. Dieses Messverfahren ahmt die physiologische Belastung der Hufkapsel bei der Fußung nach (MÜLLING, 1993; NAUMANN et al., 1987; PELLMANN et al. 1993). Um den Einfluss der auf das Hufhorn einwirkenden Druckkräfte nachzuahmen, wurde die Härtemessung parallel zur Hornröhrchenlängsachse durchgeführt. In der Literatur wird neben dem Verfahren nach Shore-C meist die Shore-D-Härteprüfung angewandt (COENEN u. SPITZLEI, 1996; HINTERHOFER et al., 2001a; SCHMITT, 1998; SPITZLEI, 1996). Ein SHORE-D-Härtemessgerät arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Dieses Gerät besitzt allerdings einen spitzeren Prüfkegel, welcher leicht in Risse des Hufhornes oder auch in den Markraum eines Hornröhrchens eindringen kann und so Messergebnisse verfälschen könnte. Ein direkter Vergleich der eigenen Befunde war daher nur mit den Ergebnissen anderer Shore-C-Härtegradmessungen möglich (PATAN u. BUDRAS, 2003 b; FROHNES, 1999; KÖNIG,

2001; KÖNIG u. BUDRAS, 2003; PATAN, 2001; SCHNITKER, 2004). Die Härteprüfung wurde nur an den Proben aus dem Zehenrückenteil durchgeführt, da die gesammelten Proben aus Seiten- und Trachtenteil nicht die für die standardisierte Messung geforderten Mindestmaße besaßen (siehe Kapitel „Material und Methoden“). Um Messungenauigkeiten zu minimieren, wurden gemäß MÜLLING (1993) sowie PELLMANN und Mitarbeitern (1993) jeweils drei aufeinander folgende Messungen vorgenommen und daraus der Mittelwert errechnet.

Die gravimetrische Ermittlung des Wassergehaltes wurde analog zu den Angaben von FROHNES (1999), KÖNIG (2001) sowie PATAN (2001) durchgeführt. Auch wurde die Bestimmung des Wassergehaltes an frischen Hornproben vorgenommen, da längeres Einfrieren die Hornproben austrocknet und dadurch die Messergebnisse nicht mehr repräsentativ sind (SCHNITKER, 2004).

Bei diesen physikalischen Messmethoden wurde bewusst nur eine Kronhornzone (mittleres Kronhorn) untersucht, da in dieser Studie nicht die Unterschiede zwischen den einzelnen Kronhornzonen dargestellt, sondern haltungs-, domestikations- und saisonal bedingte Änderungen der Hornqualität am Beispiel einer bestimmten Lokalisation im Hufhorn analysiert werden sollten.

Morphologische Untersuchungen

Bei den histologischen und rasterelektronenmikroskopischen Methoden handelte es sich um etablierte Methoden, die ohne Einschränkung für die Untersuchung der eigenen Proben geeignet waren und eine zuverlässige Beurteilung der Struktur des Hufhornes ermöglichten. Im Rahmen der histologischen Untersuchungen reichte eine Herstellung von Nativschnitten aus, d. h. ein Einbetten der Proben war nicht nötig, da es sich bei Horn um totes Material handelt, das keiner Autolyse unterliegt (PATAN, 2001). Dabei wurden in Anlehnung an PATAN (2001) verhältnismäßig dicke Schnitte (6 – 7 μm) angefertigt, da nach Meinung dieser Autorin dabei die Marksubstanz der Hornröhrchen erhalten bleibt. Allerdings wiesen im Rahmen der eigenen Untersuchungen die Röhrchen einiger histologischer Schnitte solides Markhorn auf, während in den folgenden Schnitten derselben Serie das völlige Fehlen einer Marksubstanz auffiel (siehe unten). Dieses kann mit großer Wahrscheinlichkeit darauf zurückgeführt werden, dass die Marksubstanz durch das Schneiden oder Färben dieser Schnitte herausgelöst wurde. Daher konnte eine Beurteilung des Füllungszustandes der Markräume in den histologischen Schnitten nur unter Vorbehalt erfolgen. Auch zeigten sich in den histologischen Schnitten bezüglich der Färbeintensität deutliche Unterschiede zwischen

den unterschiedlichen „Chargen“ der Schnitte. Dieses ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass nicht immer frisch angesetzte Färbelösungen verwendet werden konnten und somit die Färbeintensität der Färbelösungen teils geringgradig vermindert war. Dennoch war eine Beurteilung solcher Schnitte ohne weiteres möglich. Lediglich ein Vergleich der Färbeintensität von Schnitten verschiedener „Chargen“ konnte nicht vorgenommen werden.

Auch entstanden bei der Anfertigung und beim Färben der histologischen Schnitte häufig Zusammenhangstrennungen. Um zwischen Rissen, die im Rahmen der Probenaufbereitung entstanden, und Rissen, die bereits in der Hornprobe vorhanden waren, unterscheiden zu können, wurden daher Fotografien der Hornblöckchen angefertigt. Es ist dennoch nicht völlig auszuschließen, dass solche Risse durch das Ausschneiden durch den Hufschmied entstanden sind. Deshalb wurden von jedem Blöckchen 30 Serienschnitte angefertigt und nur solche Risse im Hufhorn beurteilt, die in der gesamten Schnittserie des Blöckchens identifizierbar waren.

Einzelne Untersuchungen waren aufgrund der Materialbeschaffenheit der Hornproben nicht durchführbar. Von den von PELLMANN und Mitarbeitern (1993) beschriebenen endogenen Einflussfaktoren (Architektur des Hufhornes, inter- und intrazelluläre Strukturen) auf die Hornqualität konnte nur eine genaue Untersuchung der Architektur des Hornes durchgeführt werden. Eine Beurteilung der inter- und intrazellulären Faktoren war nur extrem eingeschränkt möglich, da sich die relativ dicken Nativschnitte im Zuge des Färbevorganges leicht wellten und somit eine Untersuchung bei hoher Vergrößerung nicht erlaubten. Um Fehler bei der Darstellung saisonaler Unterschiede bzw. der Konstanz der Architektur des Hufhornes zu vermeiden, wurden nur die Schnitte beurteilt, bei denen sich an den unterschiedlichen Probenentnahmezeitpunkten dieselbe Stelle eindeutig wieder identifizieren ließ.

Die Rasterelektronenmikroskopie wurde ausgewählt, da sich das Oberflächenrelief des Hufhornes und seine Architektur mit dieser Methode dreidimensional darstellen lassen. Des Weiteren konnten die Hornproben mit Hilfe dieser Methode bei deutlich höherer Vergrößerung als in der Lichtmikroskopie untersucht werden. Da die Hornqualität des Pferdehufes und auch die der Rinderklauen in diesem Institut bereits mehrfach ausführlich morphologisch untersucht (ANTHAUER, 1996; FROHNES, 1999; HOCHSTETTER, 1998; KÖNIG, 2001; PATAN, 2001; SCHNIKTER, 2004) wurden, konnte der Aufwand dieser morphologischen Untersuchungsmethoden in der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu diesen Arbeiten etwas geringer gehalten und der Schwerpunkt vielmehr auf die Kombination der zahlreichen, insbesondere klinischen Untersuchungsmethoden gelegt werden. Weil die

gewonnenen Ergebnisse unter anderem denen der oben genannten Autoren gegenübergestellt werden sollen, wurden bewusst gleiche morphologische Methoden ausgewählt.

Die Gaschromatographie ist die Methode der Wahl zur Bestimmung von Fettsäuren in Geweben und Futtermitteln. Diese Methode wurde bei den Horn- und Futtermittelproben in Anlehnung an die Methodik von SCHÄFER (1998) sowie SCHÄFER und Mitarbeitern (2001) durchgeführt.

Zur Bestimmung von Fettsäuren im Hufhorn wurden die tiefgefrorenen Hornproben mit Hilfe einer Feile zu feinem Pulver zerrieben. Dabei mussten die Hufe jener vier Pferde für die Analyse exemplarisch ausgewählt werden, von denen nach Durchführung der anderen Untersuchungen noch genügend Horn für eine Fettsäureanalyse vorhanden war.

Auf die Problematik der Blutprobenentnahme wurde bereits hingewiesen. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Blutparameter wurden die Mineralstoffe und Spurenelemente ausgewählt, welche besonderen Einfluss auf die Hornqualität ausüben sollen (siehe Kapitel „Literaturübersicht“). Für die Analyse dieser Blutparameter wurden etablierte Methoden der Labordiagnostik gewählt. Als Referenzwerte zu den eigenen Befunden dienten die Angaben von SCHÄFER (1999) (siehe Kapitel „Literaturübersicht“).

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte rein deskriptiv. Eine schließende Statistik bot sich nicht an, da es sich bei den Tieren nicht um eine repräsentative Stichprobe einer wohldefinierten Grundgesamtheit handelt, sondern um eine willkürlich ausgewählte Probandengruppe. Anhand der erhobenen Daten soll lediglich eine Aussage über die 20 in dieser Studie untersuchten Pferde getroffen werden und eine Verallgemeinerung ist daher nicht ohne weiteres möglich. Deshalb konnten keine allgemeingültigen statistischen Aussagen getroffen werden. Die Beschreibung der Ergebnisse und die daraus gezogenen Folgerungen sollen daher orientierend verstanden werden.

Diskussion der Befunde

Makroskopische Beurteilung der untersuchten Pferdehufe

Die Hornqualität des Pferdehufes bestimmt maßgeblich die Nutzbarkeit eines jeden Pferdes (BUTLER u. HINTZ, 1977) und qualitativ gutes Horn und eine intakte Hufkapsel sind Voraussetzung für einen funktionierenden Hufmechanismus (REILLY, 1995). Daher wurden im Rahmen der vorliegenden Studie von den Hufen aller Pferde für eine makroskopische Begutachtung Fotos angefertigt und ein „Hufscoring“ zur objektiven Beurteilung der Hornqualität durchgeführt (siehe Kapitel „Material und Methoden“). Zu Beginn der Studie wiesen 14 der 20 teilnehmenden Pferde Hufhorndefekte auf. Dabei handelte es sich um Hornspalten, Tragrandausbrüche, Substanzverluste im Bereich der Nagellöcher, Strahlfäule und schuppenartige Veränderungen des Hufhornes. Auch besaßen einige Pferde eine schiefe Zehenachse, untergeschobene Trachten in Verbindung mit Flachhufen und ein Pferd wies einen Bockhuf auf. Desgleichen waren Hornringe in unterschiedlichem Ausmaß sichtbar. SLATER und HOOD (1997) beschreiben bei etwa 80 % aller von ihnen untersuchten Pferde gravierende Hufprobleme. Dabei äußert sich eine mangelhafte Hornqualität unter anderem in weichem, schuppigem Hufhorn, welches dazu neigt, Hornspalten und Tragrandausbrüche auszubilden. Dieses wiederum kann einen regelmäßigen Hufeisenverlust und Lahmheiten mit sich bringen (BUFFA et al., 1992; WINTZER, 1986). ZENKER (1991) definiert schlechte Hornqualität als sprödes, bröckeliges Horn, Tragrandausbrüche, Risse in der Hornwand und schmieriges Horn im Bereich der weißen Linie und im Strahl. Somit decken sich die von BUFFA und Mitarbeitern (1992) sowie von WINTZER (1986) und ZENKER (1991) beschriebenen Hufhorndefekte weitestgehend mit den eigenen Befunden.

Tragrandausbrüche konnten bei insgesamt sechs Pferden festgestellt werden. Dabei waren diese Defekte vornehmlich an unbeschlagenen Hufen vorhanden. Nachdem die Hufe zweier Pferde mit Hufeisen versehen wurden, zeigte das Hufhorn im Bereich des Tragrandes nach einem halben Jahr (Winter 2003) ein festes Gefüge. Im darauf folgenden Sommer traten erneut leichte Ausbrüche auf. Die Tragrandausbrüche der unbeschlagenen Pferde waren nach einem halben Jahr ebenfalls nicht mehr vorhanden. Nach BOLLIGER und GEYER (1992) muss bei Therapieversuchen von mangelhafter Hornqualität die lange Hufhorneerneuerungszeit für die Hufplatte von etwa einem Jahr mit einbezogen werden. Bei Tragrandausbrüchen und bröckeligem Horn muss häufig mit einer Dauer von ein bis zwei Jahren gerechnet werden, bis ein dauerhafter Therapieerfolg erwartet werden kann. Dennoch konnte in allen Fällen bereits nach sechs Monaten eine Besserung verzeichnet werden. Allerdings traten solche Ausbrüche nach einem Jahr in den Sommermonaten bei einigen

Pferden erneut zu Tage. Auch KÜNG (1991), LEU (1987) sowie SPITZLEI (1996) beobachten anhand des makroskopischen Erscheinungsbildes der Hufkapsel eine schlechtere Hufhornqualität im Frühjahr und in den Sommermonaten, während sie im Herbst und in den Wintermonaten eine Verbesserung dieser Qualität beschreiben.

Substanzverluste der Hufkapsel im Bereich der Nagellöcher traten bei zwei der untersuchten Pferde auf. Dabei wies das Horn in diesem Bereich eine bröckelige und weiche Konsistenz auf, ähnlich wie im Bereich der Tragrandausbrüche. Diese Ausbrüche im Bereich der Nagellöcher waren im Gegensatz zu Tragrandausbrüchen in den Wintermonaten stärker ausgeprägt als im Sommer. Nach EUSTACE (1994) führt ein mangelhafter Hufbeschlagn über einen längeren Zeitraum durch Fehlbelastungen der Hufkapsel letztendlich zu Hornspalten und ein falsches Setzen der Hufnägel in die Hufwand anstatt in die weiße Linie hat Ausbrüche im Bereich der Nagellöcher zur Folge. Ein fehlerhaftes Setzen der Nägel durch den Hufschmied konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht der Grund dieser Substanzverluste sein, da die Nägel stets fachgerecht in die weiße Linie gesetzt wurden. Vielmehr schien die Hornqualität der Hufe dieser Pferde mangelhaft zu sein.

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen wurden sowohl Tragrand- als auch Kronrandhornspalten festgestellt. SCHNITKER (2004) differenziert zwischen den im Rahmen der Längenregulierungsvorgänge (siehe unten) entstehenden physiologischen Hornspalten und pathologischen Rissen. Dabei treten physiologische Risse im Hufhorn nur im distalen Bereich der Hufkapsel unterhalb der Hufbeinspitze auf, während pathologische Risse in qualitativ minderwertigem Horn auch weiter proximal vorkommen. Nach einem Jahr waren diese pathologischen Hornspalten bei einigen Pferden dieser Studie ausgeheilt, wobei sie bei anderen Pferden, trotz einheitlicher exogener Einflussfaktoren, noch immer vorhanden waren. Nach STASHAK (1989) führen Hornspalten besonders im Seiten- und Trachtenteil oft bis auf die Lederhaut. Solche tief greifenden Hornspalten wurden bei den untersuchten Pferden nicht beobachtet und auch Lahmheiten konnten in diesem Zusammenhang nicht verzeichnet werden. Ursachen solcher Defekte sind nach STASHAK (1989) eine hohe Hornbildungsrate und dazu eine seltene Hufkorrektur. Beides führt zu ungleichen Belastungsverhältnissen und somit zur Rissbildung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Pferdehufe aber regelmäßig im Abstand von sechs bis acht Wochen (Boxenhaltung) bzw. acht bis zehn Wochen (Offenstallhaltung) einer Korrektur durch den Hufschmied unterzogen. Als weitere Gründe gibt STASHAK (1989) Kronrandverletzungen, dünnes Wandhorn und eine Austrocknung des Hornes für die Entstehung pathologischer Hornspalten an. Nach BERTRAM und GOSLINE (1987) entstehen solche Risse vermehrt in übermäßig feuchtem

oder trockenem Horn. Daher wird das Hufhorn durch eine feuchte Einstreu schnell geschwächt. Nach SPITZLEI (1996) sowie COENEN und SPITZLEI (1997 b) besitzt Hufhorn von minderer Qualität einen höheren Wassergehalt und eine geringere Härte als intaktes Horn. Jedoch darf eine hohe Härte nicht mit einer guten Hornqualität gleichgesetzt werden, denn hartes Horn besitzt häufig eine spröde Konsistenz (ZENKER, 1991). Ein vermehrtes Auftreten von Rissen konnte in Verbindung mit einer geringeren Umgebungsfeuchte in den Sommermonaten bei einzelnen Tieren beobachtet werden, nicht jedoch in Zusammenhang mit einem hohen Wassergehalt des Hornes. Bei einem ausgeglichenen Wassergehalt verlaufen Spalten und Risse parallel zum Tragrand, wobei dieser Schutzmechanismus bei einem extrem hohen bzw. niedrigen Wassergehalt des Hufhornes versagt und Risse bei gleicher Belastung dann in Richtung Tragrand verlaufen (BERTRAM u. GOSLINE, 1987; DOUGLAS, 1997). Der Wassergehalt des Hufhornes und auch das Auftreten von Mikrorissen im Hufhorn werden später im Detail diskutiert.

Auf Abweichungen von einem regelmäßig geformten Pferdehuf im Rahmen der eigenen Untersuchungen (Bockhuf und untergeschobene Trachten einer Traberstute) soll im Rahmen der Diskussion der Hufform genauer eingegangen werden. Das Erscheinungsbild dieser Hufe änderte sich im Verlauf der Studie, trotz gewissenhafter und regelmäßiger Schmiedearbeit und orthopädischen Hufbeschlages nicht. Ferner waren Hufe mit Trachtenzwang, Flachhufe und schiefe Zehenachsen zu beobachten. Ein Bockhuf mit einem großen Vorderwandwinkel (BUDRAS u. RÖCK, 2004; STASHAK, 1989) führt häufig zur Ausbildung einer dünnen Sohle, zu Hornspalten und zu Veränderungen der weißen Linie. Ursachen einer solchen fehlerhaften Form des Hufes können eine falsche Hufzubereitung mit einem zu starken Trimmen der Zehe oder chronische Hufrehe sein (O'GRADY u. POUPARD, 2003). Dabei konnten in Zusammenhang mit einem Bockhuf solche sekundären Veränderungen nicht festgestellt werden, wobei beachtet werden muss, dass es sich dabei um ein relativ junges Pferd (sechs Jahre) handelte. Die Entwicklung bestimmter Hufformen hängt dabei von der Aktivität des Tieres, der Vererbung, der individuellen Gliedmaßen- und Hufstellung, der Rasse und der Aufzucht ab (GRÖTZ, 1921; STASHAK, 1989).

Ein gesunder Huf weist eine glatte Hufwand ohne Rillen auf. Ausgenommen sind solche Ringe, die regelmäßig um die gesamte Hornwand und parallel zum Kronrand verlaufen (RUTHE et al., 1997). Diese entstehen infolge von Veränderungen des Nahrungsangebotes und werden deshalb als Futterringe bezeichnet. So entstehen bei ausgewogener Ernährung Wülste und bei mangelhafter Ernährung Furchen und somit Ringe in der Hufwand aller vier Hufe (GUTENÄCKER, 1933; SCHNITKER, 2004). Auch werden solche physiologischen

Hornringe zusammen mit dem Haarwechsel beschrieben (RUTHE et al., 1997). Diese physiologischen Hornringe bestanden auch bei den untersuchten Pferden, wobei diese in den Sommermonaten deutlicher ausgeprägt waren als in den Wintermonaten. Ferner war die Ringbildung bei den Pferden in Offenstallhaltung vergleichsweise stärker ausgeprägt als bei den Pferden in reiner Boxenhaltung. Auch SCHNITKER (2004) beschreibt bei im Semireservat lebenden Wildpferden eine solche ausgeprägtere Ringbildung als bei Wildpferden, die in Gefangenschaft leben. Die Hornringe werden mit der Hornproduktion nach distal geschoben und dienen bei Przewalskipferden im folgenden Jahr als Sollbruchstelle für Tragrandausbrüche, welche dann durch den Hornabrieb geglättet werden (SCHNITKER, 2004). Dieses Auftreten von Hornringen soll unten ausführlich im Zusammenhang mit saisonalen Änderungen der Hufform und dem Selbstregulierungsmechanismus der Huflänge, den Haltungsbedingungen und der Ernährung diskutiert werden.

Pathologische Hornringe entstehen hingegen durch Verlagerungen der Kronlederhaut (GUTENÄCKER, 1933), im Rahmen einer Strahlfäule (RUTHE et al., 1997) oder auch an einzelnen Hufen als Folge einer Überbelastung oder lokaler Traumata. Systemische Erkrankungen oder Intoxikationen führen meist zu einer Ringbildung an allen vier Hufen. Ringe an nur einer Seite des Hufes sind dagegen meist auf Stellungsanomalien zurückzuführen (STASHAK, 1989). Eine typische Form der pathologischen Ringbildung findet man in Zusammenhang mit chronischer Hufrehe (GOETZ, 1987, GROSENBAUGH et al., 1999). Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Pferde und Ponys wiesen keine solche pathologische Ringbildung auf.

SPITZLEI (1996), KÜNG (1991) sowie LEU (1987) beschreiben im Frühjahr und Sommer eine Verschlechterung der Hornqualität, während im Herbst und im Winter eine Verbesserung dieser Qualität stattfindet. Dabei schenken die Autoren im Gegensatz zu KÖNIG (2001) der Jahreszeit, in der das Horn gebildet wurde, keine Beachtung. Nach KÖNIG (2001) besitzt Horn, das in der warmen Jahreszeit gebildet wurde, eine schlechtere Qualität als Horn, dessen Bildungszeitpunkt im Winter liegt (siehe unten). Dabei sind die Umstände, die zu einer schlechten Hornqualität führen, vielseitig (REILLY, 1995). Nach dem durchgeführten Hufscoring (siehe Kapitel „Material und Methoden“) konnte generell in den Sommermonaten keine verminderte Hornqualität festgestellt werden. Zwar lagen die Gesamthufescores der untersuchten Pferde im Sommer 2003 unter denen des Winters 2003/2004, aber es konnte zum Sommer 2004 eine weitere Steigerung der Gesamthufnoten registriert werden. Dabei lagen die Noten der Pferde beider Ställe in einem sehr ähnlichen Bereich. Die laut Notengebung schlechteste Hornqualität existierte in beiden Ställen zu Beginn der Studie

Diskussion

(Sommer 2003). Zu diesem Zeitpunkt wies das Hufhorn bei den Pferden aus der Offenstallhaltung ebenfalls die höchsten Härtegrade und den geringsten Wassergehalt auf (siehe unten) und war deutlich spröder als im restlichen Untersuchungszeitraum. Die Gesamthufnoten verbesserten sich bei insgesamt acht Pferden in Offenstallhaltung im Verlauf der Studie, wobei zwei Pferde eine Verschlechterung ihrer adspektorisch erfassbaren Hornqualität aufwiesen. In Boxenhaltung stiegen die Gesamthufnoten im Verlauf der Studie bei fünf Pferden an. Bei vier Tieren verschlechterte sich die Hornqualität. Ein Pferd zeigte während des gesamten Untersuchungszeitraumes keine nennenswerten Schwankungen der Hufnoten. Dieses Pferd besaß von Beginn an eine sehr gute Hornqualität, welche sich über den gesamten Zeitraum dieser Studie nicht veränderte. Auch konnte kein Unterschied in der Spannweite der Hufnoten beider Ställe festgestellt werden, was dafür spricht, dass in beiden Ställen Pferde mit vergleichbarer Hornqualität ausgewählt wurden.

Der mittlere Hufscore lag bei den Stuten mit $73,15 \pm 13,63$ geringfügig über dem der Wallache mit $68,31 \pm 15,00$. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen der vorliegenden Studie die Anzahl der Wallache mehr als doppelt so hoch war wie die der Stuten. Die Hornqualität ließ zwischen pigmentiertem und unpigmentiertem Hufhorn keinen Unterschied erkennen.

JOSSECK (1991) beschreibt ferner eine Verschlechterung der Hornqualität mit zunehmendem Alter. Individuelle Schwankungen bezüglich der adspektorisch erfassbaren Hornqualität waren allerdings weitaus größer, als Unterschiede innerhalb der Altersgruppen, zwischen den Geschlechtern oder in Abhängigkeit von der Pigmentierung des Hufhornes. Nach BAGGOTT (1982), JOSSECK und Mitarbeitern (1995) sowie LEY und Mitarbeitern (1998) ist die Hufhornqualität nämlich genetisch bedingt und die Qualität des Hornes soll bereits vom Tag der Geburt an stark individuell variieren (TSCHERNE, 1910).

Bei einem Vergleich der Hufscores von Vorder- und Hinterhufen ergab sich für die Vorderhufe der Pferde beider Ställe eine im Mittel geringere Note. Weshalb diese adspektorisch erfassbare Hornqualität der Hinterhufe besser war als die der Vorderhufe, bleibt allerdings spekulativ. Da Pferde nach dem Koten häufig mit ihren Hinterhufen im Mist stehen, insbesondere in Boxenhaltung, wäre im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen von einer geringeren Hornqualität der Hinterhufe auszugehen. Eine denkbare Erklärung für diese besseren Hufnoten der Hinterhufe ist möglicherweise der Hufbeschlagnagel. Die Hinterhufe einiger Pferde und Ponys waren über den gesamten Untersuchungszeitraum unbeschlagnagelt, während die Vorderhufe aller Pferde beschlagnagelt waren. Ob aber ein solcher Beschlagnagel eine Verminderung der Hufnoten (z. B. durch das Ausreißen von Nagellöchern) zur Folge hatte,

bleibt fraglich. Bei der Auswertung der anderen Untersuchungsparameter und bei den morphologischen Untersuchungen ergaben sich hingegen keine Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen. Eine weitere Erklärung für diesen Qualitätsunterschied ist die Nutzung der Pferde in dieser Studie. Dabei handelte es sich bis auf zwei Pferde ausschließlich um Schulpferde. Schulpferde, welche in der Regel (wie auch ihre Reiter) einen nur geringen Ausbildungsgrad besitzen, belasten bei der Arbeit meist vermehrt die Vorhand, und eine somit erhöhte Belastung der Vorderhufe im Gegensatz zu den Hinterhufen kann als ein möglicher Grund für diese Differenz der adspektorisch erfassbaren Hornqualität angesehen werden.

Auch die Hufpflege ist ein nicht zu unterschätzender exogener Faktor mit Einfluss auf die Hornqualität und wurde in beiden Reitställen dokumentiert. Zweck der Hufpflege ist die Erhaltung oder Wiederherstellung der Hufhornqualität. Dabei dient die Hufpflege der Reinigung und Feuchtigkeitszufuhr des Hufhornes (HERTSCH, 1999). Die Oberfläche der Hufwand ist der Gefahr des Austrocknens ausgesetzt und bei der heutigen Stallhaltung von Hauspferden kann das Wasserregulationsvermögen nicht ausreichend genutzt werden, wie es bei Wildpferden der Fall ist (BUDRAS et al., 2002). Diesem Problem kann nach einer Wässerung des Hufes durch eine geeignete Versiegelung mit Huffett entgegengewirkt werden (BUDRAS et al., 1998). In Offenstallhaltung bestand eine Hufpflege nur aus gelegentlichem Auskratzen der Hufe. Diese wurden jedoch nicht gewaschen oder gefettet. In Boxenhaltung wurden die Hufe täglich gesäubert, vor und nach dem Reiten ausgekratzt, regelmäßig gewaschen und eingefettet. Von einem Fetten der Sohle und des Strahles warnen BUDRAS und Mitarbeiter (1998) allerdings, da dieses das Horn für einen bakteriellen Abbau anfällig macht. Durch einen so hervorgerufenen Verschluss der Röhrenlumina mit Huffett werden anaerobe Bedingungen geschaffen und Mikroorganismen können sich schnell vermehren. Deshalb raten EUSTACE (1994) und HICKMAN (1983) grundsätzlich von der Verwendung von Huffetten ab. Bei den Pferden aus reiner Boxenhaltung konnte vermehrt das Auftreten von Strahlfäule und fauligem, schuppigem Horn beobachtet werden. Harnstoff oder eine Mischung von Urin, Kot und Einstreu kann zu einer Minderung der Hornqualität führen (BUDRAS u. SCHIEL, 1996, MÜLLING, 1993). Dabei waren die Pferde in reiner Boxenhaltung solchen Bedingungen, trotz regelmäßigen Ausmistens, stärker ausgesetzt als die Pferde in Offenstallhaltung. Nach der Hufkorrektur, die das Ausschneiden des Strahles beinhaltete, konnte bei diesen Pferden eine kurzfristige Besserung der Strahlfäule festgestellt werden. Jedoch trat die Strahlfäule wenige Wochen nach der Hufkorrektur erneut auf. Dies mag einerseits auf das Fetten der Sohle und des Strahles bei diesen Pferden zurückzuführen

sein, andererseits spielt dabei die Haltungsform der Pferde vermutlich eine Rolle. Horn von schlechter Qualität ist nämlich für eine Zersetzung durch Bestandteile von Mist und Boxeneinstreu anfällig und bietet somit eine ideale Eintrittspforte für Bakterien (FROHNES u. BUDRAS, 2001). Dies in Kombination mit einer Versiegelung der Röhrenlumina führte bei den untersuchten Pferden möglicherweise zu diesem gehäuften Auftreten der Strahlfäule. Daher heben auch BUDRAS und Mitarbeiter (1998) als wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der Hornqualität eine Optimierung der Stallhygiene hervor. Nach Meinung von EUSTACE (1994) sowie KEMPSON (1990) bleibt gesundes Hufhorn von Trockenheit, Schlamm oder durch eine mangelhafte Stallhygiene unbeeinflusst, wohingegen Horn von schlechter Qualität diesen Umwelteinflüssen viel stärker ausgesetzt ist. Ob nun diese Hygienefaktoren bei den untersuchten Pferden primär zu einer Verminderung der Hornqualität geführt haben, oder ob diese Pferde aufgrund einer bereits vorhandenen mangelhaften Hornqualität diesen Faktoren stärker ausgesetzt waren, bleibt fraglich. Andererseits konnten an den Hufen der Pferde aus Offenstallhaltung keine nennenswerten Fäulnisprozesse festgestellt werden, obwohl sich diese Tiere, besonders in der kälteren Jahreszeit, auf matschigem Untergrund befanden.

Neben einer regelmäßigen Hufpflege spielt die Hufkorrektur eine wichtige Rolle für die Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit eines Pferdes (NAUMANN et al., 1987). Die Hufe der Pferde aus Offenstallhaltung wurden im Abstand von acht bis zehn Wochen korrigiert und beschlagen. Dagegen wurde bei den Pferden in Boxenhaltung eine Hufkorrektur durch den Hufschmied im Abstand von sechs bis acht Wochen durchgeführt. Eine solche regelmäßige Hufkorrektur bei domestizierten Pferden ist ebenfalls von enormer Wichtigkeit, da hier eine Selbstregulierung der Hornlänge im Gegensatz zu Wildpferden (SCHNITKER, 2004) nicht stattfindet (HERTSCH, 1999). Auf die Selbstregulierungsvorgänge am Pferdehuf soll später noch eingegangen werden. So können Lahmheiten häufig durch gute Schmiedearbeit verhindert werden und daher hat kaum eine andere routinemäßige Arbeit größeren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Pferdes, als die Bearbeitung der Hufe und der Hufbeschlag (O'GRADY u. POUPARD, 2003).

Die Hufform

Die von den verschiedenen Untersuchern in der Literatur angegebenen Werte eines regelmäßigen Pferdehufes, insbesondere die des Vorderwandwinkels (= Zehenrückenwinkel), weisen erhebliche Unterschiede auf und die meisten Autoren machen keine Angaben bezüglich der untersuchten Pferderasse. Dabei resultierte die Züchtung zum Hauspferd neben

vielfältigen Rassen und Körpergrößen auch (gewollt oder ungewollt) in sehr unterschiedlichen Formen und Größen der Hufe. Ein direkter Vergleich mit den eigenen Messwerten ist daher nur zulässig, wenn in der entsprechenden Literatur die untersuchte Pferderasse angegeben ist. Beispielsweise besitzen Lipizzaner im Vergleich zu ihrer Körpermasse verhältnismäßig kleine und zierliche Hufe (JOSSECK, 1991; ZENKER, 1991). Przewalskipferde besitzen kleinere Hufe als Hauspferde, wobei die Hufe aber in Relation zur Körpergröße und dem Körpergewicht stehen (SCHNITKER, 2004). Auch bei den untersuchten Warmblütern und Ponys existierten sehr unterschiedliche Huf-Körpermassenverhältnisse. So besaßen einige großrahmige Warmblutpferde, passend zu ihrer Körpergestalt, auch verhältnismäßig große Hufe, während die Hufe deutscher Reitponys im Verhältnis zur Körpermasse deutlich kleiner waren. Dennoch wiesen einige Warmblüter auch hier, verglichen mit der Körpermasse, sehr kleine und zierliche Hufe auf, was wiederholt zu vermutlich überlastungsbedingten Hufproblemen führte.

Die Entwicklung bestimmter Hufformen hängt jedoch auch von der Tätigkeit des Tieres, der individuellen Gliedmaßen- und Hufstellung und der Aufzucht ab (GRÖTZ, 1921; STASHAK, 1989). Dabei entsprechen die Hufe der Przewalskipferde noch am ehesten der Urform des Pferdehufes (SCHNITKER, 2004), weshalb die eigenen Befunde auch mit den Hufparametern dieser Wildpferde verglichen werden sollen. Dabei sollen nicht nur allein die Hufformen, sondern auch die Veränderungen der Hufform in Abhängigkeit von der Jahreszeit gegenübergestellt werden.

So schwanken die Angaben der Normwerte zum Vorderwandwinkel (Zehenrückenwinkel) in der Literatur für den Vorderhuf zwischen 38° (NEUBERT, 2001) und 64° (LEU, 1987) und für den Hinterhuf zwischen 41° (NEUBERT, 2001) und 65° (LEU, 1987). Die eigenen Messergebnisse liegen in diesem Schwankungsbereich. LEU (1987) gibt den Zehenrückenwinkel beim Hannoveraner Warmblut am Vorderhuf mit 56° und am Hinterhuf mit 52° an. SCHROTH (2001) misst bei den von ihr untersuchten Connemara Ponys, irischen Hunttern und englischen Vollblütern vorne und hinten Winkel zwischen 50 und 55° , wobei sie nicht genau zwischen den einzelnen Rassen differenziert. Beim Przewalskipferd, was im Folgenden zum Vergleich saisonaler Veränderungen der Hufform herangezogen wird, gibt KIND (1961) eine Winkelung von 45 bis 50° für den Vorderhuf und 50 bis 55° für den Hinterhuf an. SCHNITKER (2004) misst am Vorderhuf im Mittel einen Winkel von $44,54^\circ$ und am Hinterhuf von $48,9^\circ$. Die eigenen Befunde beim Warmblut lassen sich am ehesten mit denen von LEU (1989) für das Hannoveraner Warmblut angegebenen Werten vergleichen (s. o.). Dabei ist der Vorderwandwinkel bei den in dieser Studie untersuchten Warmblütern

Diskussion

am Vorderhuf mit $52,35^\circ \pm 1,84$ kleiner als die von LEU (1989) gemessenen Winkel, wobei am Hinterhuf der Winkel mit $52,54^\circ \pm 2,16$ ziemlich genau mit den Angaben von LEU (1989) übereinstimmt. Dieser Winkel betrug bei den untersuchten Ponys vorne $51,65^\circ \pm 2,41$ und hinten $52,05^\circ \pm 2,38$, während beim Traber ein Winkel von $53,56^\circ \pm 1,32$ am Vorderhuf und von $50,31^\circ \pm 1,60$ am Hinterhuf messbar war.

Im Vergleich zu den Angaben von SCHNITKER (2004) sind die Vorderwandwinkel aller an dieser Studie teilnehmenden Pferde und Ponys deutlich stumpfer als beim Przewalskipferd.

Betrachtet man die Befunde von KIND (1961), trifft dies allerdings nur für die Vorderhufe zu, wobei seine Angaben zum Winkel der Hinterhufe beim Wildpferd im Bereich der im Rahmen der eigenen Untersuchungen gemessenen Werte liegen. Solch geringe Winkel, wie sie SCHNITKER (2004) am Vorderhuf der Wildpferde beschreibt, konnten bei den untersuchten Pferden nur bei einem Pferd gemessen werden. Dieses Pferd besaß zudem untergeschobene Trachten und eine gebrochene Zehenachse. Auch ein Winkel von über 60° wurde im Rahmen der eigenen Untersuchungen nur in einem Fall gemessen. Dabei handelte es sich um den Bockhuf (vorne) bei einer Traberstute. Die Angaben zum physiologischen Hufwinkel dürfen also nicht vorbehaltlos auf alle Pferde angewandt werden. Dieser Winkel weist zudem große individuelle Schwankungen auf (KIND, 1961; SCHNITKER, 2004), was auch die eigenen Befunde bestätigen. Die jeweils ideale Hufwinkelung ergibt sich nach STASHAK (1989) aus der Zehenachse eines jeden Pferdes.

Auch bezüglich der Längenparameter des Hufes gibt es rassespezifische Unterschiede (FISCHER, 1933), weshalb ein direkter Vergleich auch hier nur mit den Messwerten der Hufe anderer Warmblüter zulässig ist. LEU (1987) gibt beim Hannoveraner Warmblut die Trachtenhöhe der Vorder- sowie der Hinterhufe mit 55 mm an. Bezüglich der Sohlenweite (Hufbreite, „weiteste Stelle“) misst LEU (1987) beim Warmblut 142 mm am Vorderhuf und 120 mm am Hinterhuf. Die von UM und Mitarbeitern (1997) beschriebene Vergrößerung der Längenparameter des Pferdehufes proportional zum Körpergewicht und zur Körpergröße kann durch die eigenen Messungen bestätigt werden. So lag die mittlere Hufbreite der Vorderhufe beim Warmblut bei $13,15 \text{ cm} \pm 1,21$, die der Hinterhufe bei $12,41 \text{ cm} \pm 0,78$. Die Hufbreite der Vorderhufe der Traberstute lag im Mittel bei $10,87 \text{ cm} \pm 0,14$, die der Hinterhufe bei $10,53 \text{ cm} \pm 0,20$. Die untersuchten Ponys wiesen eine Hufbreite von $11,86 \text{ cm} \pm 0,77$ am Vorderhuf und $10,88 \text{ cm} \pm 0,79$ am Hinterhuf auf. Auch die Huflänge variierte abhängig von der Rasse. Da aber in der Literatur, aufgrund unterschiedlicher Messstrecken, keine vergleichbaren Werte vorhanden sind, soll hier auf eine erneute detaillierte Auflistung dieser Parameter verzichtet werden. Überdies weisen auch „durchschnittliche“ Hufe so

massive individuelle, alters-, rasse- und nutzungsbedingte Unterschiede auf, dass genaue Aussagen hinsichtlich der Huflänge nicht möglich sind (FISCHER, 1933). Die eigenen Messwerte sind dem Kapitel „Untersuchungsergebnisse“ zu entnehmen. Die Trachtenhöhe war an den Vorderhufen bei den verschiedenen Rassen nahezu identisch. Nur an den Hinterhufen wurden beim Traber geringere Werte als bei den untersuchten Warmblütern und Ponys notiert.

Bezüglich der Hufform existieren ferner deutliche Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen. So sind die Vorderhufe größer und ihre Sohlenfläche ist rundlich, während die Hinterhufe insgesamt meist kleiner sind und eine eher ovale Sohlenfläche besitzen. Des Weiteren ist der regelmäßige Hinterhuf stumpfer gewinkelt als der Vorderhuf (KÖRBER, 1989; SCHNITKER, 2004; STASHAK, 1989). Die eigenen Befunde bestätigen diese unterschiedliche Form der Vorder- und Hinterhufe, wobei bezüglich der gemessenen Winkel- und Längenmaße zwischen Vorder- und Hinterhufen nur geringfügige Unterschiede existierten. So waren die gemessenen Zehenrückenwinkel der Vorder- und Hinterhufe bei den untersuchten Warmblütern meist annähernd identisch und beim Traber sogar die Hinterhufe spitzer gewinkelt als die Vorderhufe. Bei den Ponys wurden an den Hinterhufen geringfügig stumpfere Winkel gemessen als an den Vorderhufen (s. o.). Somit gleichen die eigenen Befunde in Bezug auf den Zehenrückenwinkel denen von SCHROTH (2001). Sie gibt den Unterschied der Zehenrückenwinkel zwischen Vorder- und Hinterhufen mit maximal 1° bis 3° an, wobei dieser Winkel ihrer Meinung nach aber vielfach auch identisch ist (SCHROTH, 2001).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden analog zur Hornprobennahme die Hufe im Abstand von sechs bis acht Wochen über den Zeitraum eines Jahres vermessen. Die gesammelten Daten sollten Aufschluss über eventuelle Änderungen der Hufform im Laufe des Untersuchungsjahres geben. Es war jedoch nicht möglich, an jedem Termin von sämtlichen Pferden die Hufparameter zu ermitteln. Da die Hornbildungsrate einiger Pferde deutlich geringer war als bei anderen, wurden die Hufe dieser Pferde nicht alle acht Wochen einer Korrektur unterzogen und eine Vermessung war nur mit abgenommenen Hufeisen durchführbar. SCHNITKER (2004) untersuchte erstmalig die jahreszeitlichen Änderungen der Hufform (Längenregulierungsvorgänge) bei Wildpferden, die in einem Semireservat unter annähernd natürlichen Bedingungen leben, im Vergleich zu Wildpferden in Zoologischen Gärten. Diese Befunde sollen im Folgenden den eigenen Ergebnissen gegenübergestellt werden, um einen Vergleich zu in menschlicher Obhut gehaltenen Reitpferden vorzunehmen.

Diskussion

Die saisonalen Veränderungen der Hufform werden durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst: die Gliedmaßen- und Hufstellung des einzelnen Pferdes (STASHAK, 1989), die Hornbildungs- und Verlustrate (PATAN, 2001; SCHNITKER, 2004), die Bewegungsaktivität des Pferdes (HERZBERG, 1996; SCHNIKER, 2004), die Umgebungstemperatur (PATAN, 2001), das Nahrungsangebot (SCHNITKER, 2004) und das Körpergewicht (PATAN, 2001). PATAN (2001) erkennt allerdings keinen Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Hornabrieb, sondern vermutet, dass die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit für saisonale Veränderungen der Hornabriebsrate verantwortlich ist. Die Nutzung und Bewegungsintensität der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Pferde und Ponys in Boxenhaltung blieb in den verschiedenen Jahreszeiten konstant. Dabei handelte es sich, bis auf zwei Pferde, um Schulpferde, welche etwa drei Stunden pro Tag in der Reithalle liefen. Die Privatpferde wurden ca. eine Stunde täglich bewegt. In dieser Reitsportanlage wurde bei allen Pferden ein deutlich erhöhter Hornabrieb, besonders im Zehenbereich, im Herbst 2003 beobachtet, so dass die Hufe aller Pferde mit Hufeisen versehen werden mussten. Dieser erhöhte Hornabrieb ist eindeutig auf einen neuen Reithallenboden mit einer stark abschleifenden Wirkung auf das Hufhorn zurückzuführen und bestätigt die Meinung von PATAN (2001), nach der die Bodenbeschaffenheit den Hornabrieb beeinflusst. Zudem waren in diesem Stall die Haltungsbedingungen sowie das Nahrungsangebot und dadurch bedingt auch das Körpergewicht der Pferde ganzjährig konstant. Dennoch kann der Meinung von HERZBERG (1996) und SCHNITKER (2004), die Bewegungsintensität habe Einfluss auf den Hornabrieb, nicht widersprochen werden. Die Pferde in Offenstallhaltung zeigten deutliche Schwankungen bezüglich der Dauer ihrer täglichen Bewegung, abhängig von der Jahreszeit. So war die Bewegungsintensität im Sommer höher als im Winter. In den Sommermonaten wurden die Pferde auf Koppeln gehalten und legten folglich beim Grasens größere Entfernungen zurück als im Winter, wo diese Pferde auf Paddocks aus Futterkrippen und Heuraufen gefüttert wurden. Zusätzlich fiel der Reitbetrieb, aufgrund des Fehlens einer Reithalle, bei schlechten Wetterbedingungen häufig aus. In den Sommermonaten hingegen wurden auch diese Pferde und Ponys mehrmals täglich geritten. Dabei konnte die Hornabriebsrate nicht direkt gemessen werden. Allerdings scheint es aber auch hier einen Zusammenhang zwischen Hornabrieb und Bewegungsintensität zu geben, denn bei der Probennahme der Hufclippings fiel bei Pferden, die nur vorne beschlagen waren, auf, dass in den Sommermonaten von den unbeschlagenen Hinterhufen selten Clippings entfernt werden konnten, wobei die durch Eisen geschützten Vorderhufe stets ausgeschnitten werden mussten.

Diskussion

SCHNITKER (2004) beobachtet bei frei lebenden Wildpferden im Frühjahr die größte Zehenrückenlänge, während parallel dazu der Vorderwandwinkel kleiner wird. In den Sommermonaten nimmt die Zehenrückenlänge ab, während der Winkel stumpfer wird. Daneben kann bei diesen Tieren ein Abfall des Körpergewichtes bis zum Frühjahr und parallel zum gesteigerten Futterangebot ein rapider Anstieg der Körpermasse zum Sommer beobachtet werden. Dagegen blieb das Körpergewicht der untersuchten Pferde über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu konstant. Bei den von SCHNITKER (2004) untersuchten Przewalskipferden führen die erhöhte Hornbildungsrate im Frühjahr und ein geringerer Hornabrieb, bedingt durch weicheren Boden in diesen Monaten, zu dieser Längenzunahme der Hufe, während durch eine Abnahme der Luftfeuchte das Hufhorn in Tragrandnähe austrocknet. Dieses führt zusammen mit der höheren Körpermasse und einer gesteigerten Bewegungsaktivität zum Auftreten von Tragrandausbrüchen und somit zur Selbstregulierung der Huflänge. Die im Frühjahr auftretende spitzgewinkelte Form der Hufe stellt hier nur einen Übergang dar und ist für die Wildpferde kein Nachteil. Diese Hornchips brechen vor allem im Bereich von Hornringen aus, die eine Sollbruchstelle darstellen. In den Wintermonaten, in denen der Boden meist hart ist, reicht der Abrieb des Hufhornes zur Längenregulation der Hufplatte aus, da in dieser Zeit die Hornbildungsrate ohnehin sinkt. Auf die unterschiedlichen Faktoren mit Einfluss auf die Hornbildungsrate wird weiter unten genauer eingegangen. Auch die eigenen Untersuchungen zeigten bei den domestizierten Pferden eine deutlich reduzierte Hornbildungsrate im Winter und einen Anstieg im Frühjahr. Dieses war sowohl bei den Pferden und Ponys in Offenstallhaltung sowie in Boxenhaltung der Fall. In den Wintermonaten war die Hornbildung so gering, dass von einer Vielzahl von Pferden keinerlei Hornproben genommen werden konnten und lediglich im Rahmen der Hufkorrektur die Hufeisen ausgetauscht wurden. Wesentliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Jahreszeit konnten in Bezug auf die Winkel- und Längenparameter der untersuchten Pferde nicht festgestellt werden und auch zwischen den einzelnen Pferderassen gab es diesbezüglich keine Differenz.

Im Bezug auf die Winkel- und Längenparameter der Pferde aus Offenstallhaltung wurden im Verlauf des Untersuchungsjahres nur unwesentliche Schwankungen festgestellt. Dabei konnten diese sehr geringen Schwankungen keiner spezifischen Jahreszeit zugeordnet werden. Auch bei den Pferden und Ponys in reiner Boxenhaltung verhielt es sich ähnlich. Dabei unterlagen Zehenwandwinkel und Trachtenhöhe größeren individuellen Schwankungen als Hufbreite und Huflänge, die sowohl im Jahresverlauf, als auch individuell nur sehr geringe

Änderungen zeigten. Es ist daher vielmehr anzunehmen, dass diese geringen Schwankungen der Winkel- und Längenparameter auf die Arbeit der Hufschmiede zurückzuführen sind.

SCHNITKER (2004) beschreibt ferner auch bei den von ihr untersuchten Przewalskipferden haltungsbedingte Unterschiede in der Regulierung der Länge und Form der Hufe. So zeigen die Pferde in Zoologischen Gärten eine geringere Hornringausbildung als ihre frei lebenden Artgenossen. Die Autorin vermutet, dass Hauspferde, die unter ähnlichen Bedingungen gehalten werden wie die Wildpferde im Semireservat, ähnliche Adaptationsvorgänge ausbilden würden. Auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit war bei den Pferden in Offenstallhaltung eine deutlichere Ausprägung dieser physiologischen Hornringe als bei den Pferden aus reiner Stallhaltung zu beobachten. Diese Hornringe waren in den Sommermonaten deutlicher ausgeprägt als in den Wintermonaten und waren bei den extensiv gehaltenen Pferden über den gesamten Untersuchungszeitraum vorhanden, während sie in Boxenhaltung nur bei einigen Pferden gering ausgeprägt waren. Vergleicht man nun die saisonalen Einflüsse, die auf die Pferde dieser beiden sehr unterschiedlichen Haltungsformen einwirken, so werden folgende Unterschiede deutlich: die Pferde in Stallhaltung unterlagen mit Ausnahme von Temperaturschwankungen und Änderungen der Luftfeuchte keinerlei saisonalen Faktoren. Diese Pferde waren, bedingt durch die künstliche Stallbeleuchtung, daneben nur sehr geringen Schwankungen der Tageslichtlänge ausgesetzt. In Offenstallhaltung variierten neben diesen Faktoren auch die Feuchtigkeit und damit die Konsistenz des Bodens, das Futterangebot (im Sommer Gras, im Winter Heu und Hafer) und die Bewegungsaktivität der Pferde. Einer verringerten Tageslichtlänge waren die Pferde und Ponys aus Offenstallhaltung in den Wintermonaten deutlich ausgesetzt, da dieser Stall nicht künstlich beleuchtet wurde.

Diese beobachteten Unterschiede zwischen den Haltungsformen der Hauspferde in dieser Studie lassen sich durchaus mit den Unterschieden bei den von SCHNITKER (2004) untersuchten Przewalskipferden in Freilandhaltung und in Zoohaltung vergleichen. Zwar sind die saisonalen Auswirkungen (verminderte Hornbildungsrate und Ringbildung) beim Hauspferd nicht ganz so deutlich, lassen aber dennoch vermuten, dass auch bei Hauspferden in reiner Freilandhaltung die Hufform in Abhängigkeit von der Jahreszeit gewissen Schwankungen unterläge, würden diese Pferde keiner regelmäßigen Hufkorrektur unterzogen. Ob domestizierte Pferde allerdings auch solche Adaptationsvorgänge entwickeln würden wie ihre wilden Artgenossen, bleibt fraglich und weitere Studien auf diesem Gebiet wären mit Sicherheit aufschlussreich. Andererseits kommt es bei vernachlässigten Hufen von Hauspferden, die lange Zeit keiner Korrektur unterzogen wurden, meist zu einem typischen

Aufrollen der Hufplatte (POLLITT, 1999), was grundsätzlich gegen einen Selbstregulierungsmechanismus spricht, wie er im Huf von Przewalskipferden vorkommt. Sehr spitze Vorderwandwinkel beobachtet STASHAK (1989) meist bei unbeschlagenen, vernachlässigten Pferdhuften, insbesondere wenn die Tiere auf weichem Untergrund gehalten werden. Solche Hufformen resultieren aus einer regionalen Imbalance zwischen Hornproduktion und Hornabrieb. Derartige Hufe überlasten die Beugesehnen, die Hufrolle und den Hufbeinträger und führen infolgedessen zu krankhaften Veränderungen dieser Strukturen (STASHAK, 1989; THOMASON et al., 2001). Auch im Rahmen der eigenen Untersuchungen traten vor allem bei jenen Pferden gehäuft Lahmheiten und Ganganomalien auf, die eine abnorme Hufform, wie untergeschobene Trachten, einen Bockhuf, Flachhufe oder eine schiefe Zehenachse, aufwiesen. Deshalb kann gerade in der modernen Pferdhaltung von Reitpferden auf eine regelmäßige und gewissenhafte Hufkorrektur keinesfalls verzichtet werden, da bei domestizierten Pferden in der modernen Stallhaltung eine Selbstregulierung der Hornlänge und Hufform, wie sie bei frei lebenden Wildpferden vorkommt, nicht stattfindet (HERTSCH, 1999). Auch ist die Hufform von enormer Bedeutung für die biomechanischen Funktionen des Hufes und jegliche Manipulation am distalen Teil des Hufes beeinflusst dessen Winkelung (O'GRADY u. POUPARD, 2003) und wirkt sich so wiederum auf die gesamte Gliedmaßengesundheit des Pferdes aus. Ein geeignetes Trimmen der Hufe sollte den normalen Hornabrieb unterstützen und so bei optimaler Huflänge und -winkelung und geeigneter Bewegungsaktivität für eine optimale Lederhautdurchblutung sorgen (KÖNIG u. BUDRAS, 2003). Allerdings bleibt zu beachten, dass eine unregelmäßige Hufform auch durch eine unsachgemäße Hufzubereitung verursacht werden kann (FRIEDRICH, 1931).

Hornbildungsrate

Die Hornbildungsrate des Pferdehufes ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Publikationen. Sie ist zudem wichtig für die Berechnung der Hufhornerneuerungszeit und auch um Prognosen hinsichtlich der Heilung von Hufhorndefekten treffen zu können (BOLLIGER u. GEYER, 1992).

Zur direkten Bestimmung der Hornbildungsrate konnten im Rahmen der eigenen Untersuchungen nur zwei Pferde aus Offenstallhaltung exemplarisch herangezogen werden, da keiner der Pferdebesitzer eine Markierung der Hufe zuließ und so schon vorhandene Querspalten an den Hufen zur Messung herangezogen werden mussten.

Die monatliche Hornbildungsrate unterliegt deutlichen saisonalen Schwankungen und JOSSECK (1991) sowie LEU (1987) beobachten eine reduzierte Hornbildungsrate in den

Wintermonaten. Dieses war auch bei den Pferden und Ponys in dieser Studie der Fall. Ein Wallach zeigte im Herbst eine durchschnittliche Hornbildung von 13 mm pro Monat, während im Winter lediglich 5 mm Horn pro Monat neu gebildet wurden. Dieses Pferd war beschlagen und besaß qualitativ gutes Horn. Ein weiterer beschlagener Wallach mit qualitativ minderwertigem Horn zeigte in den Sommermonaten eine Hornbildungsrate von 10 mm pro Monat, während diese im Winter monatlich ebenfalls bei nur 5 mm lag. Daneben bot die geringe Anzahl der Pferde, von denen in den Wintermonaten überhaupt Hornproben gesammelt werden konnten, einen Hinweis auf die verminderte Rate der Hornbildung in dieser Zeit. Die Hornbildungsrate war hier bei vielen Pferden so gering, dass nur die Hufeisen ausgetauscht wurden, und die Hufkorrektur allein aus dem Abraspeln des Tragrandes bestand. Dieses war bei beiden Haltungsformen zu beobachten, wobei diese Schwankungen bei den Pferden und Ponys in Offenstallhaltung deutlicher ausfielen. Viele wissenschaftliche Studien beschäftigen sich mit der Hornbildungsrate und beschreiben ebenfalls derartige saisonale Schwankungen. Allerdings werden genaue Angaben hinsichtlich der Jahreszeit, in der die Messungen erfolgen, oft nicht gemacht und demnach variieren die Angaben zur monatlichen Hornbildungsrate in der Literatur sehr stark. So schwanken die Angaben für die Hornbildungsrate beim Warmblut zwischen 4 mm (BECKER, 1998) und 17 mm (WINTZER, 1986) in 28 Tagen und die Hufhornerneuerungszeit (für den Zehenrückenteil der Hufplatte) wird beim Warmblut mit 7 Monaten (WINTZER, 1986) bis 12 Monaten (GEYER u. SCHULZE, 1994; LEU, 1987) angegeben. Bei Therapieversuchen von mangelhafter Hornqualität muss diese lange Hufhornerneuerungszeit mit einbezogen werden.

Auch PATAN (2001) beobachtet bei frei lebenden Przewalskipferden eine Saisonalität der Hornbildung und gibt für die Sommermonate eine Rate von $7,62 \pm 1,36$ mm in 28 Tagen und für die Wintermonate von $3,71 \pm 1,39$ mm in 28 Tagen an. Folglich liegen die exemplarisch erhobenen eigenen Befunde (s. o.) im Schwankungsbereich der Angaben anderer wissenschaftlicher Untersuchungen.

CLARK und RAKES (1982) sowie VERMUNT (1990) begründen die saisonalen Schwankungen der Hornbildungsrate mit den jahreszeitlichen Unterschieden der Tageslichtlänge. So beeinflussen Schwankungen der Tageslichtlänge den Prolaktinspiegel. Prolaktin, ein Hormon, welches in der Hypophyse gebildet wird, besitzt eine stimulierende Wirkung auf die Hornbildungsrate (LINCOLN und RICHARDSON, 1998). Im Rahmen dieser Studie wiesen die in Offenstallhaltung lebenden Pferde ausgeprägtere jahreszeitliche Schwankungen als die Pferde in Boxenhaltung auf, welche wegen der künstlichen Stallbeleuchtung den natürlichen Lichtschwankungen weitaus weniger ausgesetzt waren.

Diskussion

Dennoch konnte bei beiden Haltungsformen, wie bereits beschrieben, in den Wintermonaten eine Verringerung der Hornbildungsrate beobachtet werden.

Die Bewegungsintensität ist ein weiterer Faktor, der auf die Hornbildungsrate Einfluss nimmt (LEU, 1987; SCHREYER, 1997; WINTZER, 1986). Infolge einer erhöhten Bewegungsrate kommt es zu einer Durchblutungssteigerung der Huflederhaut und so zu einer quantitativen Zunahme der Hornproduktion. So ist bei Reitpferden, die täglich mehrere Stunden bewegt werden auch die monatliche Hornbildungsrate erhöht (LEU, 1987; WINTZER, 1986). Die Unterschiede der Bewegungsintensität zwischen den Pferden aus reiner Boxenhaltung und den Pferden aus Offenstallhaltung wurden bereits im Rahmen der saisonalen Änderung der Hufform diskutiert. Trotz deutlicher Unterschiede bezüglich der saisonalen Bewegungsintensität der Pferde beider Ställe waren Schwankungen der Hornbildungsrate im Laufe des Untersuchungsjahres bei allen Pferden und Ponys zu beobachten. Diese Schwankungen, wie oben bereits erwähnt, fielen bei den in reiner Boxenhaltung lebenden Pferden aber geringer aus. Somit kann der Meinung von LEU (1987), SCHREYER (1997) sowie WINTZER (1986) nicht widersprochen werden. Ob diese unterschiedliche Ausprägung der saisonalen Schwankungen der Hornbildungsrate aber durch eine unterschiedliche Bewegungsintensität hervorgerufen wurde, konnte nicht geklärt werden.

Auch ist eine Verringerung der Hornbildungsrate im Winter auf eine Änderung des Nahrungsangebotes und eine Verringerung der Umgebungstemperatur zurückzuführen (HAHN et al., 1986; SCHREYER, 1997; WINTZER, 1986). In einer kalten Jahreszeit ist die Hornbildungsrate herabgesetzt (KAINER, 1989; WHEELER et al., 1972). Diese saisonalen Unterschiede der Hornbildungsrate infolge von Temperaturschwankungen werden auch auf eine Alteration der Blutzufuhr zurückgeführt (VERMUNT, 1990). Auf die saisonalen Unterschiede des Futterangebotes der Pferde in Extensivhaltung wurde bereits eingegangen. Da aber bei beiden Haltungsformen eine Reduktion der Hornbildungsrate in der kalten Jahreszeit vermerkt wurde und die Pferde in Boxenhaltung hauptsächlich Temperaturschwankungen, dagegen kaum einer veränderten Bewegungsaktivität oder veränderten Ernährung ausgesetzt waren, ist von einem Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Rate der Hornbildung auszugehen.

Ferner wird unbeschlagenen Hufen eine höhere Hornbildungsrate als beschlagenen Hufen nachgesagt. Dabei sollen die Hinterhufe wiederum eine höhere Hornbildungsrate als die Vorderhufe besitzen. Gemischtfarbige Hufe weisen die geringste, helle Hufe die höchste Hornbildung auf, während sich die Hornbildungsrate dunklerer Hufe dazwischen befindet (BECKER, 1998). LEISERING und HARTMANN (1876) beschreiben hingegen einen durch

den Hufbeschlag verminderten Hornabrieb. Nach PATAN (2001) ist bei (unbeschlagenen) Przewalskipferden die Hornproduktion am Kronrand nahezu identisch mit dem Hornverlust durch den Abrieb am Tragrand. Im Rahmen der vorliegenden Studie war bei unbeschlagenen Hinterhufen der Pferde beider Ställe im Winter ein Sammeln von Hufclippings nicht möglich. Dieses widerspricht zunächst der Auffassung von BECKER (1998). Allerdings muss bei unbeschlagenen Hufen, wie bereits von LEISERING und HARTMANN (1876) beschrieben, von einem erhöhten Hornabrieb ausgegangen werden. Daneben waren die Vorderhufe aller Pferde und Ponys beschlagen, nur acht Pferde und Ponys liefen hinten barfuss. Deshalb ist ein direkter Vergleich der Hornbildung zwischen Vorder- und Hinterhufen und eine Beurteilung der Auswirkungen eines Beschlages auf die Rate der Hornbildung nicht ohne weiteres möglich.

Bei älteren Pferden ist nach BUTLER und HINTZ (1977), HERZBERG (1996), JOSSECK (1991) sowie REILLY und Mitarbeitern (1998) die Hornbildungsrate herabgesetzt. Indessen hat das Geschlecht des Pferdes darauf keinen Einfluss (BUTLER u. HINTZ, 1977; HERZBERG, 1996; PATAN, 2001; REILLY et al. 1998). BECKER (1998) sieht weder einen Einfluss des Alters noch der Farbe eines Pferdes auf die Hornbildungsrate. Auch PATAN (2001) kann bezüglich der Hornbildungsrate keine altersbedingten Unterschiede feststellen.

Die Rasse des Pferdes soll dagegen ein Faktor mit Einfluss auf die Rate der Hornbildung sein (LEU, 1987). Bei der eigenen Hornprobennahme konnte im Winter kein Einfluss des Alters, der Rasse des Geschlechtes oder der Fellfarbe auf die verminderte Hornbildung festgestellt werden, wobei genaue Messungen nur bei zwei Wallachen vorgenommen wurden. Dagegen konnten auffällige individuelle Unterschiede der Hornbildungsrate beobachtet werden. So war bei einzelnen Pferden nicht nur in der kalten Jahreszeit die Hornbildung herabgesetzt, sondern diese Pferde zeigten generell eine geringere Rate der Hornbildung im Vergleich zu ihren Artgenossen. Unter Berücksichtigung der gleichen Ernährungs- und Haltungsbedingungen für alle Pferde in der Offen- oder Boxenhaltung wird auf individuelle, genetische Einflüsse auf die Hornbildungsrate geschlossen. Auch LEU (1987) vermutet einen genetischen Einfluss auf die Hornbildungsrate.

Nach PATAN (2001) ist der Unterschied dieser saisonalen Schwankungen in der Hornbildungsrate aufgrund der Haltungsbedingungen bei Wildpferden größer als bei Hauspferden. So schienen auch in der vorliegenden Studie die saisonalen Änderungen der Hornbildungsrate von der jeweiligen Haltungsform des Pferdes abzuhängen, nicht aber bei Wild- und Hauspferden verschieden zu sein. Der Jahresrhythmus der Hornproduktion scheint sich also im Laufe der Domestikation des Pferdes nicht gravierend verändert zu haben. Es ist

wahrscheinlich, dass diese Schwankungen, wie schon von PATAN (2001) beschrieben, auch bei domestizierten Hauspferden durch das Zusammenspiel der zahlreichen Einflussfaktoren bedingt sind. Eine Schlussfolgerung auf einen kausalen Zusammenhang der einzelnen Parameter und der Schwankung der Hornbildungsrate ist daher schwierig. Welcher der genannten Faktoren nun in welchem Ausmaß einen Einfluss auf die Hornbildungsrate ausübt, bleibt anhand der eigenen Untersuchungen noch spekulativ und ist durch nachfolgende Untersuchungen weiter zu klären.

Hornhärte und Wassergehalt des Hufhornes (Physikalische Materialprüfung)

Die Angaben zum Härtegrad des Hufhornes liegen in der Literatur teils weit auseinander. Auch variieren bezüglich der Härtegradmessung am Hufhorn die Messmethoden der einzelnen Autoren. Während sämtliche Messungen in der Arbeitsgruppe des Institutes für Veterinär-Anatomie mittels eines Shore-C-Härtemessgerätes vorgenommen wurden, beziehen sich die meisten Angaben in der Literatur auf Messungen mittels Shore-D-Härtemessgeräten. Auch die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Härtemessungen wurden mittels der Shore-C-Technik durchgeführt, weshalb sich ein direkter Vergleich nur mit den Ergebnissen von Messungen mittels Shore-C-Härtemessgeräten anbietet. Häufig sind auch die Angaben bezüglich der Lokalisation der Härtemessung und zur Probenentnahmestelle nicht präzise. Bei den in dieser Studie für die Härtegradmessung verwendeten Hornproben handelte es sich ausschließlich um mittleres Kronhorn des Zehnrückenteiles. Darum soll ein direkter Vergleich nur zu Ergebnissen von Messungen des mittleren Kronhornes gezogen werden, da sich ein direkter Vergleich zwischen unterschiedlichen Lokalisationen der Messstellen verbietet.

In der Literatur schwanken die Angaben zur Hornhärte bei physiologischem Wassergehalt (der bei den verschiedenen Untersuchern unterschiedlich ist, s. u.) zwischen $58,0 \pm 2,3$ Shore-D-Härtegraden (COENEN u. SPITZLEI, 1996) und $95,40 \pm 3,06$ Shore-C-Härtegraden (PATAN u. BUDRAS, 2003 b). Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen liegen somit im Schwankungsbereich der Ergebnisse dieser Untersucher. Allerdings ist ein direkter Vergleich nur mit Messungen des mittleren Kronhornes mittels Shore-C-Härteprüfgeräten zulässig. So liegen die Werte der untersuchten Pferde und Ponys bei $79,87 \pm 5,00$ Shore-C-Härtegraden bei den Pferden in Offenstallhaltung und bei $76,80 \pm 3,23$ bei reiner Boxenhaltung. KÖNIG (2001) misst im mittleren Kronhorn eine Härte von 75,3 - 92,3 Shore-C-Einheiten. Bei Przewalskipferden geben PATAN u. BUDRAS (2003 b) die Härte des mittleren Kronhornes mit $87,93 \pm 1,53$ Shore-C-Härtegraden an, PATAN (2001) misst dabei Werte von 82 bis 90

Shore-C-Härtegraden. Auch SCHNITKER (2004) untersuchte die Hornhärte von Wildpferden und gibt diese im mittleren Kronhorn mit $81,0 \pm 3,54$ Shore-C-Härtegraden an. KIND (1961) sagt Wildpferden härteres Hufhorn als domestizierten Pferden nach. Dieses kann im Bezug auf die eigenen Untersuchungen des mittleren Kronhorns bestätigt werden, während PATAN (2001) bei Przewalskipferden dies nur für das äußere Kronhorn beschreibt. Dennoch müssen die eigenen Befunde insofern kritisch betrachtet werden, als dass es sich bei den untersuchten Proben ausschließlich um Proben aus Tragrandnähe (Hufclippings) handelt und somit ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersucher vorsichtig zu interpretieren ist. Ferner ist bei einer Gegenüberstellung mit den Befunden anderer Untersucher zu bedenken, dass meist keine Angaben zur Haltung, Nutzung und Rasse der Pferde gemacht werden. Auch wird dabei häufig die Jahreszeit, in der die Hornproben entnommen wurden, nicht berücksichtigt.

Die Hornhärte der untersuchten getrockneten Hornproben stimmt mit $96,25 \pm 1,80$ Shore-C-Einheiten (Offenstallhaltung) bzw. $95,70 \pm 1,59$ Shore-C-Einheiten (Boxenhaltung) annähernd mit den Angaben von PATAN und BUDRAS (2003 b) überein, die beim Haus- und Przewalskipferd eine maximale Hornhärte von 100 Shore-C-Einheiten messen.

Auch unterliegt die Hornhärte saisonalen Schwankungen. So soll das Hufhorn von Wildpferden, welches in den Wintermonaten gebildet wurde, härter sein als Horn, dessen Bildungszeitpunkt in der wärmeren Jahreszeit liegt (PATAN u. BUDRAS, 2003 b; PATAN, 2001), während KÖNIG (2001) dagegen keine Abhängigkeit der Hornhärte von der Jahreszeit der Hornbildung bei Hauspferden feststellt. Die eigenen Befunde bezüglich der Hornhärte sind nur bedingt mit diesen Aussagen vergleichbar, da die Autoren Schwankungen der Härte in Bezug auf den Bildungszeitpunkt des Hornes beschreiben. Im Rahmen der eigenen Untersuchungen ist der Zeitpunkt der Bildung der jeweiligen untersuchten Hornproben jedoch nicht eindeutig bestimmbar. So wurde bei den Pferden in Offenstallhaltung bei den im Winter gesammelten Proben die geringste Härte von $67,10 \pm 7,62$ Shore-C-Härtegraden gemessen und gleichzeitig die höchsten Wassergehalte in zu diesem Zeitpunkt vermerkt (siehe unten). Die im Sommer 2003 genommen Proben wiesen in diesem Stall durchschnittlich einen Shore-C-Härtegrad von 81,51 und im Sommer 2004 von 81,91 auf. So bestätigen die eigenen Befunde eine von der Jahreszeit abhängige Hornhärte bei in Freilandhaltung lebenden Pferden. Im Gegensatz dazu konnten im Rahmen der Boxenhaltung solche Schwankungen nicht beobachtet werden. Um einen direkten Vergleich mit den Angaben von PATAN und BUDRAS (2003 b) und PATAN (2001) durchführen zu können, muss der Bildungszeitpunkt der eigenen Hornproben in etwa bestimmt werden. Geht man von einer Hufhornerneuerungszeit beim Warmblut von etwa 12 Monaten aus (GEYER und SCHULZE,

1994; KAINER, 1989; LEU, 1987; RUTHE et al., 1997; STUMP, 1967), so kann man darauf schließen, dass die im Winter gesammelten Proben auch im Winter gebildet wurden (und die im Sommer gesammelten Proben im Sommer gebildet wurden). Allerdings gibt es in der Literatur bezüglich der Hornbildungsrate sehr weit auseinander liegende Angaben, weshalb dieser Vergleich kritisch interpretiert werden muss. Die eigenen Befunde der Pferde in Offenstallhaltung widersprechen somit den Befunden von PATAN und BUDRAS (2003 b) sowie PATAN (2001), die die größte Härte bei Winterhorn beschreiben, wohingegen die Hufe der untersuchten Pferde in Freilandhaltung in dieser Zeit die geringste Härte aufwiesen. Dagegen stimmen die eigenen Ergebnisse mit denen von MAC CALLUM und Mitarbeitern (2002) überein, die einen höheren Härtegrad im Sommer als in den Wintermonaten beschreiben. Der Aussage von KÖNIG (2001), die bei Hauspferden keine saisonalen Schwankungen der Hornhärte feststellte, muss somit teilweise widersprochen werden. Eine mögliche Erklärung gibt hierbei die entsprechende Haltungsform der Pferde, da diese saisonalen Schwankungen nur bei den in Freilandhaltung lebenden Pferden beobachtet werden konnten. Eine denkbare Begründung für die widersprüchlichen Befunde von PATAN und BUDRAS (2003 b) sowie PATAN (2001) ist das eigene Probenmaterial. Durch den nassen und matschigen Untergrund in den Wintermonaten ist eine Erweichung des Hufhornes in Tragrandnähe denkbar, während ein sandiger, trockener Untergrund im Sommer zur Austrocknung und somit höheren Härte des distalen Hufhornes und somit der Hornproben führt. Der Zusammenhang zwischen Hornhärte und Wassergehalt wird später ausführlicher diskutiert. SCHNITKER (2004) beschreibt eine solche Austrocknung des Hornes bei Wildpferden, besonders im distalen Bereich der Hufkapsel, im Frühjahr aufgrund einer in dieser Jahreszeit herrschenden geringeren Luftfeuchte. Diese jahreszeitlichen Veränderungen scheinen also weniger durch die Domestikation des Pferdes bedingt zu sein, sie sind vermutlich eine haltungsbedingte Folge.

Der Lipidgehalt des Hufhornes ist ein weiterer Faktor, der die Hornhärte bestimmt (ELIAS u. FRIEND, 1975; FROHNES, 1999; FROHNES u. BUDRAS, 2001). FROHNES (1999) sieht einen Zusammenhang zwischen Hornhärte und Hornfeuchte sowie dem Lipidgehalt des Hornes. So lässt sich beispielsweise die deutlich geringere Hornhärte im Ballen und Strahlsegment, neben dem höheren Wassergehalt, auf den hohen Anteil intrazellulärer Lipidtröpfchen zurückführen (FROHNES, 1999). Die eigenen Ergebnisse zeigten in den Sommermonaten 2004 einen Abfall des Fettsäuregehaltes des Hufhornes und gleichzeitig einen Anstieg der Hörnhärte zu diesem Zeitpunkt, was grundsätzlich für einen Zusammenhang zwischen Lipidgehalt des Hornes und der Hornhärte spricht. Die

Diskussion

Korrelationsberechnung dieser beiden Parameter ergab jedoch keinen signifikanten Zusammenhang. Auch muss hier betont werden, dass im Rahmen der Fettsäureanalyse lediglich die Hufe vierer Pferde aus Offenstallhaltung exemplarisch untersucht wurden, was die Aussagekraft der Ergebnisse in Frage stellt. Die Beantwortung dieser Frage wäre Gegenstand weiterer umfangreicher Untersuchungen.

Ferner weist nach DIETZ und PRIETZ (1981) sowie HEPBURN und Mitarbeitern (2004) unpigmentiertes Horn deutlich höhere Härtegrade auf als pigmentiertes Horn, was aber durch die untersuchten Proben nicht bestätigt werden konnte. Die Härte der unpigmentierten Pferdehufe lag im Mittel bei $77,62 \pm 6,08$ Shore-C-Härtegraden, wobei diese bei pigmentiertem Horn mit $79,04 \pm 4,31$ Shore-C-Härtegraden nicht signifikant höher lag. Somit stimmen die Befunde von CLARK und RAKES (1982), DOUGLAS und Mitarbeitern (1996), LANDEAU und Mitarbeitern (1983) sowie MIYAKI und Mitarbeitern (1974), die zwischen pigmentierten und unpigmentierten Hufen keine Unterschiede in der Hornhärte feststellen, mit den eigenen Befunden überein. Ferner besteht zwischen Vorder- und Hinterhufen laut HINTERHOFER und Mitarbeitern (2001 a) sowie MIYAKI und Mitarbeitern (1974) ebenfalls kein Unterschied der Hornhärte. Dies wird durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. Ein Einfluss des Alters der Pferde auf die Hornhärte des Hufhornes konnte ebenfalls nicht beobachtet werden. Auch PATAN (2001) sieht keinen Einfluss von Alter oder Geschlecht auf die physikalisch-mechanischen Horneigenschaften.

Bei den in dieser Studie für die Ermittlung des Wassergehaltes herangezogenen Hornproben handelte es sich ausschließlich um mittleres Kronhorn des Zehenrückenteiles, des Seitenteiles und des Trachtenteiles in Tragrandnähe. Da sich bei der Ermittlung des Wassergehaltes im mittleren Kronhorn zwischen den drei untersuchten Hufplattenteilen keine wesentlichen Unterschiede ergaben und auch in der Literatur nicht zwischen den verschiedenen Hufplattenteilen unterschieden wird, sollen im Folgenden vor allem die Ergebnisse der Messungen des Zehenrückenteiles diskutiert werden. So differieren zwar der Wassergehalt und die Hornhärte in den einzelnen Kronhornzonen (KÖNIG, 2001; PATAN, 2001) und verschiedenen Segmenten des Pferdehufes (FROHNES, 1999; SPITZLEI, 1996; STUMP, 1967), jedoch ist, beruhend auf den eigenen Ergebnissen, der Wassergehalt innerhalb einer Kronhornzone in unterschiedlichen Hufplattenteilen konstant.

Die in der Literatur für den physiologischen Wassergehalt von Hufhorn angegebenen Werte schwanken zwischen 17 % (BERTRAM u. GOSLINE, 1987) und 35,5 % (DOUGLAS et al., 1996). Der Wassergehalt des Hufhornes der untersuchten Pferde liegt in diesem Schwankungsbereich. Der von PATAN und BUDRAS (2003 b) angegebene Wassergehalt des

Diskussion

mittleren Kronhornes liegt bei Przewalskipferden bei $21,74 \% \pm 0,56$ und PATAN (2001) gibt diesen mit $23,12 \% \pm 1,54$ an. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen bestätigen mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von $19,69 \pm 4,12 \%$ (Offenstallhaltung) bzw. $25,13 \pm 3,68 \%$ (Boxenhaltung) weitestgehend die Angaben dieser Untersucher. Eine mögliche Erklärung für den durchschnittlich höheren Wassergehalt des Hornes der Pferde aus reiner Boxenhaltung ist die intensive Hufpflege. In diesem Stall wurden die Hufe einer täglichen Reinigung mit Wasser unterzogen, was in Offenstallhaltung nicht der Fall war. Bei diesem Vergleich zeigen sich zwischen Wildpferden (PATAN, 2001) und domestizierten Pferden keine Unterschiede der Schwankungsbreiten des Wassergehaltes des Hufhornes.

Sowohl die Haltungsbedingungen als auch saisonale Faktoren nehmen Einfluss auf den Wassergehalt des Hufhornes (BERTRAM u. GOSLINE, 1987; PATAN u. BUDRAS, 2003 b; DOUGLAS, 1997; NAUMANN et al., 1987; SPITZLEI, 1996; STERN, 2000; ZENKER, 1991). Bezüglich des Wassergehaltes im Hufhorn von Przewalskipferden sind allerdings nur geringe saisonale Unterschiede festzustellen (PATAN, 2001). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden andererseits bei den in Offenstallhaltung lebenden Pferden größere Schwankungen im Wassergehalt des Hufhornes beobachtet als bei den Pferden in reiner Stallhaltung. So schwankten die Mittelwerte des Wassergehaltes aller drei Hufplattenteile der Pferde aus Offenstallhaltung im Laufe des Untersuchungsjahres und zeigten von Sommer 2003 ($17,88 \%$) zum Winter 2003/2004 ($23,25 \%$) einen Anstieg und fielen im Frühjahr wieder ab ($17,01 \%$). Zum Sommer 2004 stieg der Wassergehalt im Mittel erneut auf $23,60 \%$ an. In reiner Stallhaltung wurden solche saisonalen Änderungen des Wassergehaltes im Hufhorn auch beobachtet, diese fielen aber deutlich geringer aus, was auf die gleichmäßigeren Haltungsbedingungen in der Pferdebox über das ganze Jahr zurückgeführt werden könnte. So kann demzufolge auch in Hinsicht auf den Wassergehalt des Hufhornes von saisonalen Schwankungen gesprochen werden, die in Abhängigkeit von der Haltungsform der Pferde in unterschiedlich starkem Ausmaß zu Tage treten.

MIYAKI und Mitarbeiter (1974) beschreiben Unterschiede im Wassergehalt des Hufhornes bezüglich des Alters, der Rasse und des Geschlechtes der Pferde. So besitzen Stuten einen geringeren Wassergehalt des Hufhornes als Wallache und Hengste. Zwar wurden im Rahmen der eigenen Untersuchungen im Mittel bei den Stuten geringere Werte gemessen ($20,71 \pm 4,77 \%$) als bei den untersuchten Wallachen ($22,30 \pm 4,88 \%$), aber die individuellen Unterschiede waren zum Teil deutlicher ausgeprägt als die Differenz zwischen den Geschlechtern. Ein deutlicher Einfluss des Alters der Pferde auf den Wassergehalt des Hufhornes konnte, wie auch von PATAN (2001) beschrieben, nicht beobachtet werden.

Diskussion

Ferner existieren nach NAUMANN (1984) rassebedingte Besonderheiten in Hinsicht auf die physikalischen Eigenschaften (Hornhärte sowie auch Wassergehalt) des Hufhornes. Dabei weist das Wandhorn von Vollblütern eine größere Härte und einen geringeren Wassergehalt als das von Warm- und Kaltblutpferden auf. Die eigenen Befunde ergaben geringe rassespezifische Unterschiede. Warmblüter zeigten mit einem mittleren Wassergehalt von $23,27 \pm 4,96$ % die höchsten Werte, wobei der Wassergehalt beim Traber mit $17,34 \pm 2,83$ % am geringsten war. Die untersuchten Ponys lagen mit $20,72 \pm 4,31$ % dazwischen. Beim Traber, der den geringsten Wassergehalt aufwies, wurde die größte Hornhärte von $80,91 \pm 2,98$ Shore-C-Härtegraden gemessen. Zwischen den untersuchten Warmblütern und Ponys lag jedoch mit einer durchschnittlichen Härte von $78,53 \pm 4,69$ resp. $78,71 \pm 4,94$ Shore-C-Härtegraden kein Unterschied vor. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Messungen begrenzt, hinsichtlich der Rasseunterschiede beachtet werden muss, dass lediglich ein Traber an der Studie teilnahm.

Zwischen dem Wassergehalt und der Hornhärte besteht ein negativer Zusammenhang. So gilt grundsätzlich: je höher der Wassergehalt, desto geringer die Hornhärte (BERTRAM u. GOSLINE, 1987; PATAN u. BUDRAS, 2003 b; DOUGLAS, 1997; NAUMANN et al., 1987; PATAN, 2001; SPITZLEI, 1996; STERN, 2000; ZENKER, 1991). Die eigenen Befunde bestätigen dies aber nicht grundsätzlich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte zwar ein negativer Zusammenhang zwischen Hornhärte und Wassergehalt des Hufhornes festgestellt werden, allerdings wurde bei den im Sommer 2004 gesammelten Hornproben ein gleichzeitiger Anstieg beider Parameter im mittleren Kronhorn gemessen. Ähnlich beschreiben PATAN u. BUDRAS (2003 b) die gering ausgeprägte Korrelation beider Parameter im Sohlen- sowie Strahlsegment. Im Rahmen der Härtemessung wurden bei den Proben mit physiologischem Wassergehalt (ungetrocknet) deutlich geringere Härtegrade gemessen, als bei den bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Proben, was deutlich für eine negative Korrelation dieser beiden Parameter spricht. Dies bestätigen auch PATAN u. BUDRAS (2003 b). Demnach ist das härteste Horn das äußere und mittlere Kronhorn, womit der physiologische Wassergehalt korreliert, der im äußeren und mittleren Kronhorn am geringsten ist. Auch KÖNIG (2001) bestätigt solch eine negative Korrelation von Wasser und Härte im mittleren und äußeren Kronhorn, während DOUGLAS und Mitarbeiter (1996), PATAN (2001) sowie ZENKER (1991) dieses sogar für alle drei Kronhornzonen schildern. In den eigenen Untersuchungen konnte ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang beider Parameter im mittleren Kronhorn des Zehenrückenteiles beobachtet werden, wobei die

Signifikanz dieses Befundes vorsichtig zu interpretieren ist, da einige wenige Extremwerte bereits zu dem signifikanten Ergebnis geführt haben können.

Ein möglicher Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Hornhärte lässt sich ferner anhand der saisonalen Schwankungen dieser Untersuchungsparameter ableiten. Parallel zu dem Anstieg des Wassergehaltes des Hufhornes vom Sommer zum Winter fiel die Hornhärte der in Offenstallhaltung lebenden Pferde und Ponys ab, was möglicherweise auf die trockenen, sandigen Koppeln im Sommer und den matschigen Untergrund in den Wintermonaten zurückzuführen ist. Warum allerdings im darauf folgenden Sommer eine Erhöhung der Härte zusammen mit einer Erhöhung des Wassergehaltes einherging, bleibt fraglich.

Schließlich wurden, um einen möglichen Zusammenhang zwischen einer adspektorisch minderen Hornqualität und den physikalischen Untersuchungsparametern festzustellen, die Einzelwerte des Wassergehaltes und der Hornhärte von Pferden mit qualitativ schlechten Hufen gesondert betrachtet. Allerdings lagen die Messwerte dieser physikalischen Untersuchungsparameter im Schwankungsbereich der anderen Pferde und auch im Schwankungsbereich der Literaturangaben, was darauf schließen lässt, dass die physikalische Hornqualität adspektorisch nicht zu erfassen ist.

Morphologische Untersuchungen

Auch die morphologische Untersuchung des Pferdehufes ist Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen. In der vorliegenden Arbeit wurden lichtmikroskopische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungsmethoden miteinander kombiniert. Unter dem Lichtmikroskop waren häufig aufgrund des Probenmaterials hohe Vergrößerungen nicht möglich, wobei die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen eine hohe Vergrößerung zuließen und zudem eine dreidimensionale Darstellung der Hornproben möglich machten. Dabei wurde bei beiden Methoden ein besonderes Augenmerk auf Strukturveränderungen und Defekte im Hufhorn gelegt. Die Architektur des Kronhornes und der weißen Linie entsprach dabei weitestgehend den Angaben anderer Untersucher und die Differenzen im Aufbau des Hufhornes zwischen den untersuchten Hauspferden und den von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) untersuchten Przewalskipferden waren gering.

Im lichtmikroskopischen und rasterelektronenmikroskopischen Präparat zeigte sich die typische Kronhornarchitektur und eine deutliche Einteilung in eine äußere, mittlere und innere Kronhornzone war in Übereinstimmung mit BOLLIGER und GEYER (1992), BRUHNKE (1931), KÖNIG (2001), KÖNIG und BUDRAS (2003), NICKEL (1938), PATAN (2001) sowie TSCHERNE (1910) möglich. Der Durchmesser der Hornröhrchen und die Rindendicke

nahmen vom äußeren zum inneren Kronhorn hin zu, während die Durchmesser der Markräume in den Hornröhrchen von außen nach innen kleiner wurden. Gleichzeitig nahm parallel zu der Zunahme der Durchmesser der Röhrchen vom äußeren zum inneren Kronhorn der Anteil des Zwischenröhrchenhornes ab. Auch konnte im inneren Kronhorn eine Abnahme der Röhrchendurchmesser in Richtung der weißen Linie vermerkt werden. Die Hornröhrchendichte verminderte sich in Übereinstimmung mit BOLLIGER und GEYER (1992), KÖNIG und BUDRAS (2003), PATAN (2004) sowie SCHROTH (2002) von außen nach innen. Der Hornröhrchenquerschnitt war im äußeren und mittleren Kronhorn queroval zur Hufoberfläche, während dieser im inneren Kronhorn rund war. Dabei glich der Querschnitt des Markraumes meist dem der Rinde. Somit stimmen die eigenen Befunde zur Architektur des Kronhornes im Pferdehuf mit denen von ANTHAUER (1996), BUCHER (1987), HARNISCH (1996), KÖNIG und BUDRAS (2003) sowie NICKEL (1939) überein. Lediglich in der mittleren Kronhornzone weichen die eigenen Befunde geringfügig von Beschreibungen dieser Untersucher ab, die hier ovale Markräume bei rundem Röhrchenquerschnitt beschreiben. Die Hornröhrchen waren von Zwischenröhrchenhorn fischzugartig umgeben. PELLMANN und Mitarbeiter (1993) vergleichen diese Struktur mit einem Weidenkorbgeflecht. Zwischen Röhrchen- und Zwischenröhrchenhorn konnte meist gut unterschieden werden, allerdings war, wie schon von BUCHER (1987), FROHNES (1999) sowie KÖNIG (2001) beschrieben, eine genaue Abgrenzung der äußeren Rindenzellen von den Zellen des Zwischenröhrchenhornes, vor allem im äußeren Kronhorn, nicht immer möglich. Auch konnte in Einklang mit BOLLIGER und GEYER (1992), FROHNES (1999) sowie KÖNIG (2001) deutlich zwischen Röhrchenmark und -rinde differenziert werden, wobei die Rindenzellen der Kronhornröhrchen konzentrisch um den Markraum angeordnet waren.

Die unterschiedlichen Färbeverhalten der eigens angefertigten histologischen Schnitte (Acidophilie, PAS-Reaktion) und auch die Zellformen stimmten mit den von FROHNES (1999) und KÖNIG (2001) beschriebenen Ergebnissen überein und sollen im Rahmen der Diskussion nicht erneut aufgeführt werden. Somit gleichen die eigenen Ergebnisse der Untersuchung der Architektur im Wesentlichen den Angaben anderer Untersucher.

In allen untersuchten Kronhornproben konnten Röhrchen von höchst unterschiedlichen Durchmessern beobachtet werden. So kommt es bei Verhornungsstörungen vielfach zu einer Erhöhung der Röhrchenanzahl mit stark variierenden Durchmessern, verbunden mit einer Zunahme an bröckeligem, weichem Markhorn (BRAGULLA u. MÜLLING, 1997). Allerdings existierte im Rahmen dieser Studie eine solche Variabilität der Röhrchengröße

sowohl bei qualitativ gutem als auch bei minderwertigem Hufhorn und diese war im inneren Kronhorn am größten. Dabei wiesen die Markräume der Hornröhrchen, unabhängig vom Rindendurchmesser, einen gleichmäßigen Durchmesser auf. PATAN (2001) sieht dagegen eine große Variabilität der Röhrchengröße bei den von ihr untersuchten Przewalskipferden im äußeren Kronhorn, welche hingegen im inneren und mittleren Kronhorn kaum auftritt. Die von SCHNITKER (2004) und TSCHERNE (1910) beschriebenen Riesenröhrchen des äußeren Kronhornes konnten zu keiner Zeit in den untersuchten Hornproben nachgewiesen werden. Diese entstehen wahrscheinlich durch eine lokale Hyperperfusion, wie sie bei einer lokalen Entzündung, z. B. hervorgerufen durch einen Tritt gegen den Kronrand, aber auch im Zusammenhang mit Durchblutungsstörungen bei der Hufrehe auftritt. Zwar existierten in den meisten Hornproben, wie bereits beschrieben, Röhrchen von teilweise sehr unterschiedlichen Durchmessern, aber solch überdurchschnittlich große Hornröhrchen konnten in keiner Hornprobe identifiziert werden.

Bei geringer mikroskopischer Vergrößerung schienen im inneren und mittleren Kronhorn Röhrchen mit doppelten und dreifachen Markräumen zu existieren. Auch KIND (1961), SCHNITKER (2004) sowie TSCHERNE (1910) beschreiben solche „Zwillings- und Drillingsröhrchen“ in diesen Kronhornzonen bei Haus- und Wildpferden. Diese entstehen laut SCHNITKER (2004) durch dicht beieinander stehende oder distal gespaltene Lederhautpapillen, wobei sich der Rindenanteil zwei benachbarter Röhrchen verbindet. Jedoch konnte bei höherer mikroskopischer Vergrößerung festgestellt werden, dass es sich dabei in allen Fällen um eigenständige, nah beieinander liegende Hornröhrchen handelte, die jeweils einen eigenen Rindenbereich besaßen. Echte „Doppelröhrchen“ wurden also im Rahmen der eigenen Untersuchungen nicht gefunden.

Das Kappenhorn bildet zusammen mit dem terminalen Röhrchenhorn und dem Blättchenhorn die so genannte weiße Linie (BOLLIGER u GEYER 1992; BUDRAS et al., 1989; BUDRAS u. HUSKAMP, 1995; BUDRAS u. SCHIEL, 1996; BUDRAS u. RÖCK, 2004; MÜLLING et al., 1994 b). Die eigenen morphologischen Untersuchungsmethoden ließen ebenfalls eine klare Abgrenzung zwischen Terminalhorn, Kappenhorn und Blättchenhorn zu und die Architektur des Blättchenhornes der eigenen Proben stimmte ebenfalls mit den Angaben aus der Literatur überein. Dabei soll hier speziell auf einige Besonderheiten im Bereich der weißen Linie eingegangen werden. Bei der Untersuchung der Architektur des Blättchenhornes fielen sowohl im licht- als auch im rasterelektronenmikroskopischen Präparat gespaltene, abgeknickte, gebogene, geschlängelt verlaufende sowie aufgefiederte Hornblättchen auf. HENKE (1997) beschreibt solche geschlängelten Epidermisblättchen bei unbelastetem

Diskussion

Hufbeinträger, während diese bei Belastung eine geringere Schlängelung aufweisen. Gebogene und abgeknickte Hornblättchen sind möglicherweise ein Resultat von Scherkräften, die im Bereich des Tragrandes stärker Einfluss nehmen als bei Horn in Kronrandnähe. In Schnitten, welche aus dem proximalen Teil der Hufclippings stammten, verliefen dieselben Blättchen, welche distal in Tragrandnähe gebogen oder geknickt waren, geringfügig gerader. Nach MARKS und BUDRAS (1987) werden in Zusammenhang mit einer Hufrehe die Oberhautblättchen krankheitsbedingt länger und sind im Gegensatz zu gesunden Hufen auffällig gewunden. Keines der untersuchten Pferde und Ponys litt laut Vorbericht der Besitzer und behandelnden Tierärzte allerdings jemals an einer Hufrehe.

Die Terminalhornröhrchen waren häufig vollständig herausgelöst und die runden Kappenhornröhrchen, welche sich durch das Fehlen einer deutlichen Rinde von den Kronhornröhrchen unterschieden, besaßen einen meist leeren Markraum. Diese Befunde stehen somit in Einklang mit den von BUDRAS und SCHIEL (1996) beschriebenen Ergebnissen. Demnach sind die terminalen Hornröhrchen und die Kappenhornröhrchen bei domestizierten Pferden im Zentrum leer. Beim Przewalskipferd ist die weiße Linie schmaler als beim Hauspferd und die terminalen Röhrchen sind mit soliden Markzellen gefüllt und bilden so eine Barriere gegen aufsteigende bakterielle Keime, die folglich beim Przewalskipferd besser ausgebildet ist als im Huf des Hauspferdes.

Bei den untersuchten histologischen und rasterelektronenmikroskopischen Proben handelte es sich ausschließlich um Horn aus Tragrandnähe (Hufclippings). SCHNITKER (2004) beschreibt bei Wildpferden eine Erweiterung der Markräume in Tragrandnähe. Allerdings besitzen Przewalskipferde in allen drei Kronhornzonen im Gegensatz zum Hauspferd (KÖNIG, 2001) am Tragrand gefüllte Markräume und damit eine bessere Barriere gegen aufsteigende Noxen. Dieses ist nach BUDRAS und SCHIEL (1996) auf einen qualitativ besseren Interzellularkitt im Hufhorn dieser Wildpferde zurückzuführen. Bei der morphologischen Untersuchung der Hufclippings variierte der Füllungszustand der Markräume aller drei Kronhornzonen mitunter sehr stark. In allen drei Kronhornzonen waren sowohl mit Marksubstanz gefüllte, als auch leere oder nur randständig gefüllte Markräume vorhanden. Auch waren in einigen Schnitten nahezu alle Markräume gefüllt, während diese in den darauf folgenden Schnitten derselben Schnittserie leer waren. Eine quantitative Beurteilung des Auftretens leerer Markräume in histologischen Schnitten ist daher nur unter Vorbehalt möglich, da nicht auszuschließen ist, dass es sich hierbei um Artefakte durch die Probenaufbereitung handelt (siehe oben). Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung sind solche Artefakte unwahrscheinlich. Hier wurden im inneren und mittleren

Kronhorn Röhren mit leerem Markraum, wie auch solche mit vorhandenen Markhornzellen vorgefunden. Eine Beurteilung des äußeren Kronhornes war nicht möglich (siehe Kapitel „Untersuchungsergebnisse“). Auch hier war häufig eine randständige Marksubstanz, welche den Markraum nur teilweise ausfüllte, sichtbar und leere und auch gefüllte Markräume konnten bei ein und demselben Huf beobachtet werden. Eine Abhängigkeit des Füllungszustandes der Markräume von deren Durchmesser oder der Kronhornzone bestand dabei nicht. KÖNIG (2001) beschreibt hingegen vor allem im äußeren Kronhorn mit Marksubstanz gefüllte Markräume, während das Mark in Tragrandnähe im mittleren Kronhorn meist nur noch randständig vorhanden ist. Dabei ist das teilweise oder auch vollständige Fehlen des Röhrenmarkes in Tragrandnähe auf die physiologische Kronhornalterung zurückzuführen (KÖNIG, 2001). Während die Hornzellen im Verlauf der Hornreifung nach distal geschoben werden, schrumpfen die Röhrenmarkzellen und verwandeln sich in bröckeligen Zelldetritus. Dieser fällt partiell aus dem Markraum heraus und begünstigt somit den Eintritt von Bakterien (BUDRAS et al., 1998). Daher ist ein intaktes Röhrenmark grundsätzlich für die Aufrechterhaltung einer Barriere gegen eine aufsteigende bakterielle Keimbesiedlung wichtig (BUDRAS u. SCHIEL, 1996; KÖNIG und BUDRAS, 2003). Diese physiologische Kronhornalterung erfolgt distal des Sohlenrandes des Hufbeines, weshalb die Schutzfunktion der Hufkapsel nicht beeinträchtigt wird (KÖNIG u. BUDRAS, 2003). In der vorliegenden Arbeit fehlte die Marksubstanz der Hornröhren sowohl im Hufhorn von guter Qualität, als auch in qualitativ minderwertigem Horn. Es ist daher davon auszugehen, dass es sich hierbei um Markzerfall im Rahmen der physiologischen Kronhornalterung handelt, nicht um pathologische Vorgänge und dass dieser Markzerfall keine negativen Folgen mit sich bringt. Nach BUDRAS und Mitarbeitern (1998) reagieren die Markzellen stärker auf exogene Einflüsse, wie z. B. Mist, als die Rindenzellen und werden dadurch leichter herausgelöst. Eine Abhängigkeit von der Haltungsform der Pferde ergaben die eigenen Befunde aber nicht. Auch ein Einfluss der Jahreszeit auf die Architektur der Hornröhren war nicht erkennbar. Besonders die Markräume der Kappenhorn- und Terminalhornröhren waren meist leer oder randständig mit Zelldetritus gefüllt, was einen bakteriellen Aufstieg erleichtern würde. In Einklang zu diesen eigenen Befunden nennen BUDRAS und Mitarbeiter (1989) als Prädispositionsstellen für Erkrankungen des Hufes vor allem das Kappenhorn und das Terminalhorn der weißen Linie. Die Hornröhren der weißen Linie stellen daher die größte Schwachstelle eines Pferdehufes dar, da diese außerdem sehr kurz sind und aufsteigende Keime die empfindliche Lederhaut schnell erreichen können (BUDRAS et al., 1998).

Diskussion

Im Hufhorn zweier Warmblutwallache aus Boxenhaltung existierten auffällige multiple Kappenhornröhrchen im Bereich des Zehenrückenteiles. Diese Kappenhornröhrchen waren meist in Reihen angeordnet, lagen gelegentlich aber auch ungeordnet nebeneinander. Zusätzlich war im inneren Kronhorn eine Vielzahl von Hornröhrchen ohne deutliche Rinde, welche an Kappenhornröhrchen erinnerten, erkennbar. In diesem Zusammenhang war im inneren Kronhorn auch eine hohe Variabilität der Röhrchengröße auffallend. Des Weiteren waren in beiden Fällen zusammen mit den multiplen Kappenhornröhrchen deutlich abgeknickte Hornblättchen auffällig. Insgesamt besaßen diese Pferde ein sehr unruhiges Hornröhrchenbild. Nach MARKS und BUDRAS (1987) kommt es im Zuge einer Hufrehe zur Ausbildung einer deutlichen Kappenhornsicht, die partiell aus bogenförmig aneinander gereihten Zellen und teils aus Kappenhornröhrchen besteht. Dabei entstehen über den Firsten der Lederhautblättchen bis zu 10 solcher übereinander liegender Kappenhornröhrchen. Derartige multiple Kappenhornröhrchen sichern nach Meinung der Autoren die Diagnose einer ausgeheilten Hufrehe. Laut Vorbericht der Besitzer, behandelnden Tierärzte und Hufschmiede litt jedoch keiner dieser beiden Wallache je an einer Hufrehe. Ferner beschreiben MARKS und BUDRAS (1987) in diesem Zusammenhang auffällig gewundene Hornblättchen (siehe oben), wie sie auch bei diesen Pferden stellenweise erkennbar waren. Ob dieses Phänomen womöglich das Resultat einer ausgeheilten, klinisch inapparenten Hufrehe ist oder sich die vermehrte Anzahl dieser Kappenhornröhrchen noch im physiologischen Bereich befindet, konnte anhand der eigenen Untersuchungen nicht hinreichend geklärt werden. BOWKER (2003) vermutet hingegen bei beschlagenen Pferden im Bereich der Aufzüge der Hufeisen ein vermehrtes Auftreten multipler Kappenhornröhrchen. Im Falle der beiden Warmblutwallache sind die Aufzüge der Hufeisen als Grund für das Auftreten dieser multiplen Kappenhornröhrchen unwahrscheinlich. Diese existierten im Zehenrückenteil des Hornes von Vorder- sowie Hinterhufen. Hufeisen mit Zehenaufzügen besaß jedoch lediglich einer der beiden Wallache an den Vorderhufen, während dieser an den Hinterhufen einen Beschlag mit Seitenaufzügen aufwies. Auch der orthopädische Beschlag des anderen Pferdes war an allen vier Hufen mit Seitenaufzügen versehen. Die Haltungsform beider Pferde war identisch (Boxenhaltung), während sich die Belastung und Arbeit der Pferde aber unterschied. Bei einem Pferd handelte es sich um ein Schulpferd, das täglich zwar mehrere Stunden geritten, dabei aber nur leicht beansprucht wurde. Auch bei den sieben anderen in Boxenhaltung lebenden Pferden handelte es sich ebenfalls um Schulpferde, die täglich dasselbe Arbeitsprogramm absolvierten. Der andere Wallach, ein Dressurpferd, wurde täglich eine Stunde intensiv gearbeitet und so waren auch die Hufe kurzfristig hohen Belastungen

Diskussion

ausgesetzt (Piaffe, Passage, Trabverstärkung, enge Wendungen). Hier war auch die Ausprägung der multiplen Kappenhornröhrchen wesentlich stärker. Im Falle der Offenstallhaltung, in der sich die Pferde ganztägig frei bewegen konnten, wurden in keiner Hornprobe solch auffällige multiple Kappenhornröhrchen gefunden. Ob eine für Pferde eher unphysiologische Belastung in der Dressur einen Beitrag zur Ausbildung solcher Kappenhornröhrchen leistete und es somit zu einer solchen Umbildung des Hornes im Rahmen einer belastungsbedingten Anpassung kam, bleibt allerdings fraglich.

Konstanz der Architektur

Nach Meinung einiger Autoren unterliegt die Architektur des Hufhornes bestimmten saisonalen Veränderungen. Nach KÖNIG (2001) und PATAN (2001) zeigen bei Haus- und Przewalskipferden vor allem die Röhrchenparameter im Jahresverlauf strukturelle Veränderungen. So besitzt Horn, welches im Winter gebildet wurde, kleine und dicht zusammenstehende Hornröhrchen, während die Röhrchen des Sommerhornes einen großen Durchmesser, eine stärkere Rinde und einen größeren Markraum aufweisen. Im Sommer gebildetes Horn weist überdies einen weiteren Markraum auf und stellt so eine Prädilektionsstelle für den Eintritt unterschiedlicher Noxen dar (KÖNIG, 2001). Diese saisonalen Schwankungen sollen beim Hauspferd allerdings deutlich geringer ausgeprägt sein als beim Wildpferd (KÖNIG, 2001). In den Hornproben der untersuchten Pferde konnten im Laufe eines Jahres jedoch weder im Kronhorn noch im Bereich der weißen Linie jahreszeitlich bedingte Änderungen der Architektur festgestellt werden. So blieb die Anzahl der Hornröhrchen und -blättchen über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant und auch der Flächenanteil der Hornröhrchen stimmte Sommer wie Winter überein. Dagegen ist nach KÖNIG (2001), PATAN (2001) sowie PATAN und BUDRAS (2000) im Sommerhorn der prozentuale Flächenanteil der Hornröhrchen höher, wobei die Röhrchenzahl pro Flächenanteil aber geringer ist als im Winterhorn. Der Durchmesser der Röhrchenrinde und des Röhrchenmarkes und somit die Größe des gesamten Hornröhrchens unterlagen in den untersuchten Proben keinen saisonalen Schwankungen. Ebenso änderte sich die Struktur des Zwischenröhrchenhornes in Abhängigkeit von der Jahreszeit der Hornbildung nicht. Indessen beschreibt SCHNITKER (2004) bei Wildpferden die Struktur des Zwischenröhrchenhornes im Winter als kompakt, während dieses im Sommerhorn ein lockeres Gefüge besitzt. Aufgrund der eigenen Untersuchungen liegt daher vielmehr die Vermutung nahe, dass die Röhrchenzahl und -größe, wie auch von DIETZ und PRIETZ (1981) beschrieben, genetisch festgelegt ist. PATAN (2001) beschreibt allerdings einen gewissen Einfluss der Haltungsform

auf die Architektur des Röhrenchornes. So weisen im Semireservat gehaltene Wildpferde im Durchschnitt größere Röhren als Wildpferde aus Zoologischen Gärten auf. Nach SCHNITKER (2004) unterliegt die Röhrengröße bei frei lebenden Wildpferden wesentlich deutlicheren Schwankungen als in Gefangenschaft. Diesbezüglich gab es keine Differenz zwischen den Pferden beider Haltungsformen dieser Studie. Zwar waren die in Offenstall lebenden Pferde saisonalen Einflüssen deutlich stärker ausgesetzt als die Pferde aus reiner Boxenhaltung (siehe oben), unterlagen aber mit Sicherheit nicht den gleichen Einflüssen wie die von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) untersuchten, im Semireservat lebenden Wildpferde. Eine mögliche Erklärung für das Fehlen von saisonal bedingten Änderungen der Hornarchitektur ist, neben einer genetischen Determination, möglicherweise die Auswirkung der Domestikation. Zwar beschreibt KÖNIG (2001) ähnliche saisonale strukturelle Veränderungen im Hufhorn beim Hauspferd, allerdings in deutlich geringerem Ausmaß als beim Wildpferd.

Ein Großteil der untersuchten Kronhornproben ließ im histologischen Schnitt Risse erkennen, welche vorwiegend durch das Zwischenröhrenhorn, am Übergang zur Röhrenrinde verliefen. Auch im Rahmen der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung verliefen die Risse der künstlichen Bruchflächen meist im Randbereich der Röhren an der Grenze zum Zwischenröhrenhorn. Selten traten auch Risse innerhalb der Röhrenrinde auf. Auch KÖNIG (2001), SCHNITKER (2004) sowie ZENKER (1991) beobachten eine solche Rissbildung meist am Übergang von Röhrenrinde ins Zwischenröhrenhorn. Solche Risse führen im gesunden und auch im kranken Horn nahezu immer durch den Interzellularspalt und die dort liegende Kittsubstanz (BUDRAS u. BRAGULLA, 1991; JOSSECK et al., 1995; ZENKER, 1991). Nach BOLLIGER und GEYER (1992), KÖNIG (2001) sowie ZENKER (1991) verlaufen solche Risse meist am Übergangsbereich vom mittleren zum inneren Kronhorn, welcher eine besondere Prädilektionsstelle für Hufhornveränderungen darstellt, da hier architektonisch unterschiedliche Röhren aufeinander treffen (KÖNIG, 2001). KÜNG (1991) sowie ZENKER und Mitarbeiter (1995) finden solche Risse dagegen vorwiegend im mittleren und äußeren Kronhorn. In Übereinstimmung damit konnten auch in den eigenen Hornproben vermehrt im äußeren Kronhorn nahe der Hufoberfläche Risse festgestellt werden. Diese waren ebenfalls, wenn auch deutlich geringer ausgeprägt, im mittleren und inneren Kronhorn vorhanden.

Da sämtliche untersuchten Hornproben aus unmittelbarer Tragrandnähe stammten, ist anzunehmen, dass es sich bei den meisten Rissen um ein weiteres Zeichen der

physiologischen Kronhornalterung handelt. Auch KÖNIG (2001) sowie KÖNIG und BUDRAS (2003) interpretieren die zunehmende Rissigkeit des Hornes unterhalb des Hufbeines als Ausdruck einer normalen Kronhornalterung. Oberflächennahe Mikrorisse in den ersten vier Zellschichten und in Tragrandnähe sind nach JOSSECK und Mitarbeitern (1995) sowie ZENKER (1991) Ausdruck eines normalen Abschilferungsprozesses. Am Tragrand ist das Horn durch eine hohe mechanische Beanspruchung und exogene Faktoren, wie Mist und Einstreu, für Risse und Ausbrüche besonders anfällig (JOSSECK et al., 1995; ZENKER, 1991). So konnte bei Hufhorn von adspektorisch minderer Qualität auch eine erhöhte Rissbildung festgestellt werden, allerdings zeigten auch Hufe mit qualitativ gutem Horn oft eine solche Rissbildung im mikroskopischen Bild, ohne dass für die Pferde eine erfassbare Einschränkung damit verbunden war. Brüchiges Horn in Tragrandnähe soll ferner einen fast vollständigen Verlust der tubulären Strukturen im mittleren und inneren Kronhorn aufweisen (KEMPSON, 1987). Dieses konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen allerdings nicht beobachtet werden. Die Röhrenstruktur aller Kronhornzonen war in allen Proben deutlich erkennbar (siehe oben).

Ferner fiel auf, dass solche Zusammenhangstrennungen vermehrt in Hornproben zu finden waren, die in den Sommermonaten gesammelt wurden. Hornproben aus der kalten Jahreszeit wiesen nur sehr vereinzelt eine solche Rissbildung auf. Hufhorn, welches in der wärmeren Jahreszeit gebildet wurde, besitzt nach KÖNIG, (2001), LEU (1987), PATAN und BUDRAS (2000) sowie SPITZLEI (1996) eine schlechtere Qualität als Horn, dessen Bildungszeitpunkt in den Wintermonaten liegt. Auch PATAN (2001) verzeichnet bei den von ihr untersuchten Przewalskipferden insgesamt weniger Risse im Winterhorn. Nach SCHMITT (1998) ist dies durch eine höhere Hornhärte des Winterhornes und einen besseren mechanischen Zusammenhalt begründet. PATAN (2001) erklärt dies unter anderem mit der im Winter geringeren Hornbildungsrate und einem somit langsameren Zellnachschub, was ein besseres Ausreifen der Hornzellen garantiert. Im Hufhorn, das am Ende der Sommermonate entnommen wurde, findet SCHMITT (1998), in Einklang mit den eigenen Befunden ein gehäuftes Auftreten von Rissen im trockenen Hufhorn.

Abschließend kann festgestellt werden, dass eine ungewöhnliche Architektur des histologischen Bildes oder eine vermehrte Rissbildung sich nicht unbedingt im makroskopischen Bild des Hufes widerspiegelte. So besaßen beispielsweise beide Wallache, die im mikroskopischen Bild multiple Kappenhornröhren aufwiesen, eine adspektorisch intakte Hornkapsel von guter Qualität (siehe Kapitel „Untersuchungsergebnisse“, Textabbildung 35). Umgekehrt besaßen Hufe von adspektorisch minderwertiger Qualität im

Diskussion

mikroskopischen Bild oft eine sehr geordnete Röhrenstruktur ohne jegliche Zusammenhangstrennungen (siehe Kapitel „Untersuchungsergebnisse“ Textabbildung 36). Daher stellen Defekte in Tragrandnähe, wie sie im Rahmen der eigenen Untersuchungen gefunden wurden, nicht unbedingt einen Nachteil für die Hufgesundheit des jeweiligen Pferdes dar. Vielmehr beeinflusst die Kombination der zahlreichen Untersuchungsparameter und vor allem auch die adspektorisch erfassbare Hornqualität die Funktionsfähigkeit des Pferdehufes.

Untersuchung der Lipide im Hufhorn

Um Lipide im Hufhorn qualitativ nachzuweisen, wurde die histochemische Färbung mit Nilblausulfat durchgeführt. Mit dieser Methode wurde in den histologischen Schnitten aller vier Pferde über den Zeitraum von einem Jahr exemplarisch der Nachweis erbracht, dass es sich bei Hufhorn um ein lipidreiches Gewebe handelt. Fetttropfen waren insbesondere im Röhrenmark zu finden, welches im Vergleich zur Röhrenrinde und zum Zwischenröhrenhorn die dunkelste Färbung aufwies. Dies spricht für einen höheren Lipidgehalt in diesem Bereich. Dabei verhindert die Marksubstanz durch ihren Fettgehalt die Austrocknung des Hornes (LEACH u. ZOERB, 1983; MÜLLING, 1993).

Eine quantitative sowie qualitative Beurteilung bot die gaschromatographische Fettsäureanalyse des Hufhornes. Lipide bilden die Grundlage der epidermalen Permeabilitätsbarriere (HAMANAKA et al., 2002; MÜLLING et al., 1999; SCAIFE et al., 2000; VIELHABER et al., 2001) und sind Bestandteil der Zellmembran der Hornzellen und der Interzellularsubstanz der Hufepidermis. Die Lipidfraktion setzt sich nach SCAIFE und Mitarbeitern (2000) sowie WERTZ und DOWNING (1984) aus Neutralfetten, Triacylglycerol, Cholesterol, Ceramiden und polaren Lipiden zusammen. Neutralfette, die sich mit der Nilblaufärbung rosa darstellen, waren im Hufhorn der untersuchten Pferde allerdings nicht nachweisbar. Es war außerdem auffallend, dass im Hufhorn der untersuchten Pferde die gesättigten Fettsäuren überwogen und die ungesättigten Fettsäuren einen nur sehr geringen Anteil am Gesamtfettsäuregehalt ausmachten. Einige ungesättigte Fettsäuren waren zu keinem Zeitpunkt nachweisbar. Auch bei den von SCAIFE und Mitarbeitern (2000) untersuchten Rinderklauen wiesen die gesättigten Fettsäuren wesentlich höhere Werte auf als die ungesättigten.

Zudem existieren verschiedene Fettsäuremuster in Horn von unterschiedlicher Qualität. Nach OFFER und LOGUE (1998) besitzen Kühe, welche eine Lahmheit zeigen, einerseits eine höhere Konzentration bestimmter Fettsäuren, andererseits sind aber die Konzentrationen

anderer Fettsäuren herabgesetzt. Dies konnte anhand der vier exemplarisch untersuchten Pferde nicht beurteilt werden, da keines dieser Tiere zum Zeitpunkt der Probennahme an einer Lahmheit oder anderen Hufkrankung litt. Zwar existierten Unterschiede bezüglich der Hornqualität, aber deutliche Unterschiede des Fettsäuregehaltes oder der mit Nilblau gefärbten Schnitte waren nicht ersichtlich. SCAIFE und Mitarbeiter (2000) geben an, dass das Horn von Rinderklauen und Pferdehufen eine ähnliche Lipidzusammensetzung aufweist. Dabei ist der Gehalt der Fettsäuren im Hufhorn des Pferdes geringfügig höher als in der Rinderklaue. Dies steht zunächst in völligem Widerspruch zu den eigenen Befunden. Im Vergleich zu diesen Befunden lag die Fettsäurekonzentration der vier exemplarisch untersuchten Pferde deutlich unter den von SCAIFE und Mitarbeitern (2000) für Kühe angegebenen Werten. Dabei konnten die ungesättigten Fettsäuren Palmitolein- und Linolensäure in keiner Hornprobe nachgewiesen werden. WERTZ und DOWNING (1984) messen allerdings, ähnlich wie in den eigenen Befunden ermittelt, im Wandhorn von Pferdehufen nur sehr geringe Fettsäurekonzentrationen. Dabei geben aber weder SCAIFE und Mitarbeiter (2000) noch WERTZ und DOWNING (1984) die genauen Probenentnahmestellen an. Zwar wird zwischen Sohle, Ballen und Wand unterschieden, aber der Abstand der Proben zum Trag- oder Kronrand wird hierbei vernachlässigt. Dieses bietet eine mögliche Erklärung für die deutliche Abweichung der eigenen Befunde. Bei den in dieser Studie untersuchten Proben handelte es sich ausschließlich um Hufclippings aus Tragrandnähe, während die Proben anderer Untersucher womöglich weiter proximal entnommen wurden. Eine solche deutliche Verminderung des Fettsäuregehaltes am Tragrand könnte folglich als ein weiteres Zeichen der Kronhornalterung aufgefasst werden. Da diese Erklärung aber eher spekulativer Natur ist, wären weiterführende Untersuchungen ganzer Pferdehufe aufschlussreich. Dies war im Rahmen der vorliegenden Arbeit verständlicherweise unmöglich, da es sich bei den Probanden um lebende Tiere handelte und sich daher das Probenmaterial auf Hufclippings beschränken musste.

In der Literatur wird vielfach der Einfluss des Fettsäuregehaltes im Futter auf die Hornqualität beschrieben. So führt eine mangelhafte Versorgung mit essentiellen ungesättigten Fettsäuren, wie der Linolensäure, zu einer Störung der Barrierefunktion im Interzellularkitt (ELIAS, 1981). Diese Fettsäuren sind wesentlicher Bestandteil der Lipide im Stratum corneum der Epidermis und sind notwendig für die Aufrechterhaltung der Permeabilitätsbarriere (ELIAS et al., 1980; WERTZ u. DOWNING, 1982). Auch die eigenen Befunde lieferten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Lipidgehalt im Futter und im Hufhorn. Im Verlauf des Untersuchungsjahres schwankte der Gesamtgehalt aller Fettsäuren im Hufhorn der vier

untersuchten Pferde und fiel zum Ende der Studie bei drei von vier Pferden deutlich ab. Parallel dazu sank der Gesamtfettsäuregehalt beider Grundfuttermittel im Verlauf des Jahres geringfügig. So korrelierte der Gesamtfettsäuregehalt im Hafer und auch im Heu mit dem Gesamtfettsäuregehalt im Hufhorn positiv, wobei dieser Zusammenhang nicht statistisch signifikant war. Nach OFFER und Mitarbeitern (2000) kann Klauenproblemen beim Rind durch eine Verbesserung der Lipidzusammensetzung im Klauenhorn über die Fütterung maßgeblich entgegengewirkt werden. Allerdings wiesen in den Futtermitteln an allen Probenentnahmezeitpunkten die ungesättigten Fettsäuren die höchsten Konzentrationen auf, während im Hufhorn, wie bereits erwähnt, die Konzentration der gesättigten Fettsäuren am höchsten war. Die eigenen Befunde können also lediglich orientierend verstanden werden. Um eine genaue Aussage zum Lipidgehalt und zur Lipidzusammensetzung der Pferdehufe im Laufe eines Jahres und über die Abhängigkeit vom Fettgehalt des Futters treffen zu können, wären ausführlichere Untersuchungen mit einer größeren Probandenzahl notwendig. Ferner übt der Lipidgehalt des Hufhornes neben dessen Wassergehalt einen Einfluss auf die Hornhärte aus. Dieser Zusammenhang wurde bereits oben im Rahmen der physikalischen Materialprüfung diskutiert.

Mineralstoff- und Spurenelementanalysen

Die Versorgung der keratinisierenden und verhornenden Hufoberhaut mit Mineralstoffen und Spurenelementen ist ein entscheidender Faktor in Bezug auf die Hornqualität (KEMPSON, 1987). Dabei nehmen Veränderungen der Serumkonzentration der verschiedenen Mengen- und Spurenelemente Einfluss auf die Struktur und somit auf die Funktionen des Pferdehufes. Saisonale Auswirkungen sowie die Fütterung des Tieres haben großen Einfluss auf die Mineralstoffzusammensetzung des Hornes (LEY et al., 1998), weshalb auch die Blutanalyse im Laufe des Untersuchungsjahres dreimalig (Sommer 2003, Winter 2003/2004, Sommer 2004) erfolgte. Im Folgenden werden einige Elemente ausführlicher besprochen als andere, wobei die Auswahl anhand der Stärke der Änderungen im Laufe des Untersuchungsjahres und der Bedeutsamkeit der einzelnen Elemente in Bezug auf die Hornqualität, erfolgte.

Abweichungen der Serumkonzentrationen von Kalzium, Phosphor und Magnesium sind nach WOLF und GERST (2005) bei Pferden von untergeordneter Bedeutung und im Hinblick auf den Serumphosphorgehalt besitzen junge Pferde physiologisch höhere Werte als adulte Tiere. Kalzium, Phosphor und Natrium sind allerdings die Hauptmineralstoffe des Hornes von Huf und Klaue (KOVÁCS u. SZILÁGYI, 1973 a), weshalb mögliche Schwankungen der Konzentration dieser Elemente nicht außer Acht gelassen werden sollten. Ferner sind die

Diskussion

Anhangsgebilde der Haut, folglich auch der Huf, sehr zinkreiche Gewebe und sie enthalten etwa 20 % des Gesamtzinkgehaltes des Körpers (HENZEL et al., 1970).

Die Serumnatriumgehalte aller Pferde lagen zu jeder Zeit innerhalb der Referenzwerte. Dennoch kam es bei den meisten Pferden zwischen Sommer 2003 und Winter 2003/2004 zu einem Anstieg dieser Werte und bei allen Pferden zum Sommer 2004 zu einer Abnahme des Serumnatriumgehaltes. Auch die Serumkaliumwerte lagen bei allen Pferden während der gesamten Studie innerhalb des Referenzbereiches, wobei hier insgesamt keine deutlichen saisonalen Schwankungen auftraten. Vielmehr zeigte der Verlauf des Serumkaliumgehaltes im Blut der Pferde individuelle Schwankungen. In Bezug auf den Serumphosphorgehalt waren deutliche jahreszeitliche Änderungen ebenfalls nicht zu beobachten und auch hier lagen diese Werte während der gesamten Studie innerhalb des Referenzbereiches. Auch bestand zu keiner Zeit ein Mangel oder ein Überschuss an Magnesium. Die Pferde und Ponys in Offenstallhaltung wiesen hier deutlichere saisonale Schwankungen, auf als es bei den Pferden in Boxenhaltung der Fall war. HIDIROGLOU und WILLIAMS (1986) schildern einen saisonalen Einfluss von Magnesium auf die Hornqualität, wobei es in den Wintermonaten zu einem Abfall der Konzentration im Hufhorn kommt, ohne dass gleichzeitig eine Futterumstellung stattgefunden hat. HAHN und Mitarbeiter (1979) weisen ebenfalls auf die Abnahme der Magnesiumkonzentration im Horn in den Wintermonaten, ohne zeitgleiche Futterumstellung hin. Die Pferde aus Robusthaltung wiesen in den Wintermonaten parallel dazu einen Abfall der Magnesiumkonzentration im Blut auf. In Boxenhaltung konnte ein solcher Abfall hingegen nicht verzeichnet werden.

Innerhalb einer Herde können trotz identischer Fütterungs- und Nutzungsbedingungen wesentliche individuelle Unterschiede im Selenstatus auftreten. Dabei ist die Aussagekraft einer Einzeluntersuchung eines zufällig ausgewählten Tieres äußerst eingeschränkt (VERVUERT et al., 2000; WOLF u. GERST, 2005). Wesentliche Unterschiede bezüglich des Serumselengehaltes konnten dabei innerhalb einer Herde bzw. innerhalb eines Stalles aber nicht vermerkt werden. Der Serumselengehalt lag bei den Pferden aus Boxenhaltung fast immer im Referenzbereich. Im Sommer 2003 und auch im Winter 2003/2004 lagen die Serumkonzentrationen bei den robust gehaltenen Pferden aus Offenstallhaltung ebenfalls innerhalb der Referenzgrenzen. Sieben von zehn Pferden aus Offenstallhaltung wiesen dagegen im Sommer 2004 einen Selenmangel auf. Zu dem Zeitpunkt, an dem bei diesen Pferden ein Selenmangel festgestellt wurde, befanden sich diese Tiere seit etwa einem Monat auf sandigen Koppeln. Zwar wurden diese Pferde auch im Sommer 2003 auf denselben Koppeln gehalten, allerdings fand die Blutprobenentnahme zu diesem Zeitpunkt direkt zu

Diskussion

Beginn der Weidesaison statt und ein Selenmangel wurde zu diesem Termin nicht festgestellt. Nach WOLF und GERST (2005) ist der Selenmangel ein weit verbreitetes Problem in der modernen Pferdehaltung, wobei dieser oft bei Pferden zu beobachten ist, die extensiv auf sandhaltigen Böden gehalten werden. Auch weisen Pferde, die vorwiegend mit Grundfuttermitteln wie Gras, Heu oder Getreide versorgt werden, eine deutlich geringere Selenversorgung auf als Pferde, die außerdem Kraft- oder Mineralfutter erhalten (VERVUERT et al., 2000; WOLF u. GERST, 2005). Somit stimmen die eigenen Beobachtungen mit den Aussagen dieser Autoren weitestgehend überein, da die robust gehaltenen Pferde und Ponys aus dem Stall 1 in der Weidesaison meist kein Kraftfutter oder Hafer erhielten, sondern sich fast ausschließlich von Gras ernährten. Der im Blut festgestellte Selenmangel im Sommer 2004 führte aber keine sichtbaren Auswirkungen auf das Hufhorn mit sich. Allerdings war der Weideaufenthalt dieser Pferde stets auf wenige Wochen begrenzt und es ist wahrscheinlich, dass solch kurzfristige Schwankungen des Spurenelementstatus keine unmittelbaren Einflüsse auf das Hufhorn mit sich ziehen, sondern nur ein länger anhaltender Mangelzustand sich deutlich auf die Hornqualität auswirken würde. WICHERT und Mitarbeiter (2002) geben hingegen widersprüchlich an, dass bezüglich des Selenplasmaspiegels keine direkte Abhängigkeit von der jeweiligen Versorgung über das Futter besteht. Auch soll nach SPITZLEI (1996) die Versorgung mit Selen keinen Einfluss auf die Hornqualität haben.

Zwar führte bei den meisten Pferden, wie oben bereits erwähnt, der festgestellte Selenmangel keine sichtbaren Auswirkungen auf die Hornqualität mit sich, jedoch stieg der Serumselengehalt bei einem Pferd in Offenstallhaltung (Pferd 4) parallel zu einer Verbesserung der adspektorisch erfassbaren Hornqualität zum Winter hin an und sank dann zum Sommer wieder ab, während sich auch die Hornqualität dieses Pferdes zum Sommer hin deutlich verschlechterte. Dabei handelt es sich hierbei zwar um ein einzelnes Tier, bei dem dieser Zusammenhang deutlich erkennbar war, dennoch lässt dieser Einzelfall Rückschlüsse über eine Beziehung zwischen der Hornqualität und dem Serumselenstatus zu.

Unabhängig von der Fütterung sollen auch das Alter, die Rasse und das Geschlecht einen Einfluss auf den Selengehalt im Organismus des Pferdes haben (CRISMAN et al., 1994; HAYES et al., 1987; VERVUERT et al., 2000). Dieses konnte anhand der eigenen Befunde dagegen nicht bestätigt werden.

Dagegen führt ein Selenüberschuss auch negative Effekte auf die Hornqualität mit sich, weshalb eine eigenmächtige Zufütterung von Selenpräparaten durch die Pferdebesitzer, wie es heutzutage oft üblich ist, nur nach Rücksprache mit dem Tierarzt erfolgen sollte, da sonst

schnell die Gefahr einer Selenintoxikation besteht. Eine Selenübersversorgung kann Störungen der Keratinsynthese nach sich ziehen, die sich in ödematösen Schwellungen am Saumrand des Hufes, Hufhorndeformationen, horizontalen Ringe und Spalten im Horn und Lahmheiten bis hin zum Ausschuhern äußern (BEASLEY, 1999; MEYER, 1995).

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Selengehalt im Blut und der Hornhärte zu dokumentieren, wurde die Änderung des Selengehaltes zwischen Sommer 2003 und Sommer 2004 mit der Jahresänderung der Hornhärte korreliert. Dabei konnte für die Pferde beider Ställe zwischen beiden Parametern ein negativer Zusammenhang berechnet werden. Diese Korrelation war von Interesse, da Selen, das Bestandteil des Enzyms Glutathionperoxidase ist, zusammen mit Vitamin E für die Entgiftung der beim Abbau ungesättigter Fettsäuren entstehenden Peroxide sorgt und so eine Schädigung des Lipidanteils der Zellmembranen keratinisierender und verhornender Zellen verhindert (MEYER, 1995). Eine denkbare Erklärung für diesen Zusammenhang ist, dass zusammen mit einem Abfall des Selengehaltes im Blut diese antioxidative Funktion nicht ausreichend erfüllt werden kann und es folglich zu einer Veränderung des Fettsäuremusters im Hufhorn kommt. Da der Lipidgehalt im Hufhorn auch die Hornhärte beeinflusst (siehe oben), wird diese somit indirekt über den Selengehalt verändert. Es können dabei allerdings nur Vermutungen ausgesprochen werden und die Interpretation dieses Zusammenhanges muss mit großer Vorsicht erfolgen, da zwischen dem Fettsäuregehalt im Hufhorn und der Hornhärte direkt keine signifikante Korrelation bestand. Dies kann, wie bereits besprochen jedoch auch an der geringen Probandenzahl liegen und weitere Untersuchungen würden vermutlich diesbezüglich Aufschluss geben.

Zink ist ein weiteres Element mit Auswirkung auf die Hornqualität. Es ist Cofaktor zahlreicher Metalloenzyme, die ihre Funktion im Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsel und in der Zellteilung haben (ACKERMANN, 1987; LAMAND, 1984; ROSTAN et al., 2002). Zink ist zudem Cofaktor des Enzyms Superoxid-Dismutase, welches eine antioxidative Funktion im Bereich der Epidermis besitzt (ROSTAN et al., 2002).

Zinkmangel ist ein verbreitetes Problem der modernen Pferdehaltung, vor allem in der extensiven Weidehaltung. Ein solcher Zinkmangel herrschte in der vorliegenden Studie hingegen bei Pferden beider Haltungsformen. Ferner sinken die Zinkserumwerte häufig krankheitsbegleitend ab, ohne dass dabei gleichzeitig ein Mangel vorherrscht. Allerdings können niedrige Zinkserumwerte aber auch ein Hinweis auf einen primären oder sekundären Mangel sein (WOLF u. GERST, 2005). So lagen zu Beginn der Studie die Serumzinkgehalte von fünfzehn Pferden unter den Referenzwerten. Im Winter 2003/2004 wiesen zwölf Pferde

Zinkgehalte unterhalb dieser Grenze auf. Schließlich lagen die Zinkgehalte im Blut von vierzehn Pferden zum Ende der Studie unterhalb der Referenzgrenze. HAHN und Mitarbeiter (1979) sowie HIDIROGLOU und WILLIAMS (1986) beschreiben einen saisonalen Einfluss von Zink auf die Hornqualität. In den Wintermonaten kommt es zu einem Abfall der Konzentrationen, ohne dass gleichzeitig eine Futterumstellung stattgefunden hat. Dabei zeigten die eigenen Befunde bei den Pferden aus Offenstallhaltung einen Anstieg des Zinkgehaltes im Blut, während dieser bei den Pferden aus Boxenhaltung abfiel. Über den gesamten Studienverlauf wies der Großteil aller Pferde einen Zinkmangel auf. Dabei zeigte sich erneut, dass die Aussagekraft einer Blutanalyse in Bezug auf die Hornqualität sehr gering ist, da sowohl Pferde mit qualitativ mangelhaften sowie auch exzellenten Hufen laut Blutbild an einem Zinkmangel litten. Hingegen zeigte ein Pferd aus Offenstallhaltung (Pferd 7) parallel zu einer Verbesserung seiner adspektorisch erfassbaren Hornqualität in den Wintermonaten auch einen Anstieg seiner Serumzinkkonzentration. Zum Sommer verminderte sich diese Hornqualität wieder und ging mit einer reduzierten Zinkkonzentration im Blut einher. Dabei handelt es sich zwar auch hier um einen Einzelfall, der aber dennoch einen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Hornqualität und der Zinkversorgung bietet. Eine direkte Abhängigkeit des Zinkspiegels im Blut besteht von der jeweiligen Versorgung über das Futter nach WICHERT und Mitarbeitern (2002) allerdings nicht. Folgen eines Zinkmangels sind nach LAMAND (1984) Haarausfall, Parakeratosen, Störungen der Keratinbildung, Verdickungen und Ulzerationen des Kronrandes und die Bildung von schwachem, brüchigem, deformiertem Hufhorn. Zwar wiesen im Rahmen der vorliegenden Arbeit einige Pferde solch schwaches und brüchiges Horn auf, aber ein Zusammenhang zu dem im Blut festgestellten Zinkmangel konnte dabei nicht festgestellt werden. Dabei handelt es sich meist um einen sekundären Zinkmangel, hervorgerufen durch andere Nahrungskomponenten. Ein primärer Zinkmangel wird durch eine Unterversorgung über das Futter verursacht, wohingegen ein sekundärer Zinkmangel häufig als Folge einer Kalziumübersversorgung in Erscheinung tritt (LAMAND, 1984). Diese Interaktion zwischen den einzelnen Mineralstoffen und Spurenelementen wird weiter unten diskutiert.

Ferner zeigen sich auch bei extrem überhöhter Zinkaufnahme Risse im Horn und über dem Saum des Hufes (MEYER, 1995), weshalb, wie schon für Selen erwähnt, auch hier eine Supplementation mit Vorsicht erfolgen muss.

Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der Jahresänderung des Zinkgehaltes und der Änderung der Hornhärte ergab auch in diesem Fall eine negative Korrelation, d. h., dass ein Abfall des Serumzinkgehaltes mit einem Anstieg der Hornhärte einherging. Die mögliche

Diskussion

Erklärung hierfür ähnelt der oben bereits besprochenen Erklärung für den Zusammenhang zwischen dem Serumselengehalt und der Hornhärte. Neben den oben genannten Wirkungsmechanismen ist Zink Cofaktor von Enzymen, die im Fettsäuremetabolismus eine wichtige Rolle spielen. Zink ist hierbei verantwortlich für die Umwandlung von Linolsäure zu Arachidonsäure, welche in die Zellmembran eingebaut wird (MARSH et al., 2000). Es ist daher denkbar, dass ein Abfall der Serumzinkkonzentration über diesen Weg das Fettsäuremuster im Hufhorn beeinflusst und somit indirekten Einfluss auf die Hornhärte ausübt. Aber auch diese Begründung darf lediglich als Vermutung angesehen und nicht verallgemeinert werden.

Die Rolle von Kupfer in Bezug auf die Hornqualität besteht in der Förderung der Ausbildung von Disulfidbrücken zwischen den Keratinpolypeptidketten (GAN u. STEINERT, 1993; DAVIS u. MERTZ, 1987). In Robusthaltung wiesen neun von zehn Pferden über den gesamten Untersuchungszeitraum Serumkupferwerte unterhalb der Referenzwerte auf. Dagegen entwickeln laut WOLF und GERST (2005) extensiv gehaltene Pferde nur sehr selten einen Kupfermangel. Zwischen Sommer 2003 und Winter 2004 fiel in Offenstallhaltung bei neun von zehn Pferden der Kupfergehalt ab, um zum Sommer 2004 bei allen Pferden wieder anzusteigen. Nach HAHN und Mitarbeitern (1979) sowie HIDIROGLOU und WILLIAMS (1986) existiert auch bei Kupfer ein saisonaler Einfluss auf die Hornqualität, wobei es in den Wintermonaten zu einem Abfall der Konzentration kommt, ohne dass gleichzeitig eine Futterumstellung stattgefunden hat. Auch von den in Boxenhaltung lebenden Pferden wies ein Großteil aller Tiere über den gesamten Untersuchungszeitraum Kupfergehalte im Blut unterhalb des Referenzbereiches auf. Die saisonalen Schwankungen waren hier aber weniger deutlich. Nach WICHERT und Mitarbeitern (2002) besteht auch bezüglich des Kupferspiegels keine direkte Abhängigkeit von der jeweiligen Versorgung über das Futter und SPITZLEI (1996) sieht auch hier keinen Einfluss auf die Hornqualität. Auch die eigenen Befunde ließen in Einklang mit den Ergebnissen von SPITZLEI (1996) keinen direkten Bezug zur adspektorisch erfassbaren Hornqualität erkennen, denn wie bereits für Selen und Zink beschrieben, wiesen sowohl Pferde mit minderwertigem Horn als auch Pferde mit einer intakten Hufkapsel einen Kupfermangel auf.

Schließlich weisen WICHERT und Mitarbeiter (2002) darauf hin, dass die Gehalte an Zink, Kupfer und Selen in Blut und Horn nicht in direktem Zusammenhang zur jeweiligen Aufnahme über das Futter stehen. Ebenso stellen Selengehalte in Hufhorn, Blut und Deckhaar keinen zuverlässigen Indikator für die Selenversorgung dar, da selbst bei scheinbar deutlich unterversorgten Pferden häufig jegliche Selenmangelerscheinungen fehlen (WICHERT et al.,

2002). Auch konnte bei den untersuchten Pferden, die laut Blutanalyse einen Selen-, Zink- sowie Kupfermangel aufwiesen, ein Zusammenhang zu einer mangelhaften Hornqualität nicht nachgewiesen werden, wenn auch Einzelfälle einen Zusammenhang vermuten lassen. Das könnte dadurch zu erklären sein, dass die Hufepidermis trotz verminderten Mineralstoffangebotes im Blut immer noch genügend Mineralstoffe erhält. Zur Klärung dieser Frage wäre der direkte Nachweis einzelner Mineralstoffe im Hufhorn aufschlussreich.

Kalzium ist verantwortlich für die Aktivierung von Enzymen, die für die physiologische Keratinisierung und Verhornung von Bedeutung sind (MÜLLING et al, 1999). So spielt dieses Mineral eine Rolle in der Aktivierung der epidermalen Transglutaminase (DALE et al., 1993; GROSENBAUGH u. HOOD, 1993; RICE u. GREEN, 1979), der Bildung des marginalen Bandes (RICE u. GREEN, 1979) und der intermediärfilament-assoziierten Proteine (DALE et al., 1993). Demnach ist auch eine ausgewogene Versorgung dieses Elementes über die Nahrung von großer Bedeutung. So konnte KEMPSON (1987) bei Pferden, die auf eine alleinige Behandlung mit Biotin nicht ansprachen, nach zusätzlichen Kalziumgaben eine deutliche Verbesserung der Hornqualität feststellen

Der Serumkalziumgehalt lag bei allen Pferden zu jedem Untersuchungszeitpunkt im Bereich der Referenzwerte. Hier konnte bei fast allen Pferden zum Winter 2003/2004 ein leichter Anstieg des Kalziumgehaltes notiert werden. Zum Sommer 2004 fiel bei neunzehn von zwanzig Pferden der Kalziumgehalt im Blut ab.

Auch der Zusammenhang zwischen der Änderung des Serumkalziumgehaltes und der Änderung der Hornhärte wurde untersucht. Jedoch korrelierten, im Unterschied zu Selen und Zink, diese beiden Parameter nicht miteinander. Allerdings ist nach WEISER und Mitarbeitern (1965) die Hornhärte abhängig von der Zusammensetzung des Hornes, wobei härteres Horn mehr Kalzium enthält als Horn von weicherer Konsistenz. Ferner zeigte ein Pferd aus Offenstallhaltung (Pferd 8) im Verlauf des Untersuchungsjahres einen Anstieg seiner adspektorisch erfassbaren Hornqualität (Hufscore) und parallel dazu auch einen Anstieg des Serumkalziumgehaltes. Ob aber nun der Kalziumgehalt im Serum direkt mit dem Kalziumgehalt des Hufhornes zusammenhängt, konnte Anhand der eigenen Untersuchungen aber nicht festgestellt werden. So muss auf einen direkten Nachweis von Kalzium im Hufhorn verwiesen werden.

Schließlich spielt auch Eisen eine wichtige Rolle im Bezug auf das Wachstum, die Aufrechterhaltung und Physiologie der Haut und ihrer Anhangsgebilde (LANSDOWN, 2001). In beiden Ställen wiesen zu allen Zeitpunkten einige Pferde Eisenserumwerte oberhalb der Referenzwerte auf. Dies war vor allem in den Sommermonaten der Fall. Ob ein erhöhtes

Eisenangebot in der Nahrung zu diesen erhöhten Werten führte, bleibt allerdings fraglich. Ein Pferd aus Offenstallhaltung (Pferd 4) zeigte im Zusammenhang mit Schwankungen des Serumeisengehaltes auch Änderungen seiner Hornqualität (Hufscoring). So stieg zwischen Sommer 2003 und Winter 2003/2004 die adspektorisch erfassbare Hornqualität parallel zu einem Anstieg der Eisenkonzentration im Blut an. Zum Sommer 2004 konnte ein deutlicher Abfall des Serumeisens gemessen werden und auch die Hornqualität verminderte sich sichtbar. Zwar handelt es sich auch hier um ein einzelnes Pferd, dennoch lässt auch diese Beobachtung einen Zusammenhang zwischen der Hornqualität des Pferdehufes und dem Eisengehalt im Blut vermuten.

Da zwischen den verschiedenen Mineralstoffen und Spurenelementen Wechselwirkungen bestehen, wurden die Zusammenhänge verschiedener Elemente im Blut untersucht und Korrelationsberechnungen vorgenommen. HINTZ (1993) beschreibt solche Interaktionen zwischen den verschiedenen Mineralstoffen und Spurenelementen, wonach der Überschuss eines Mineralstoffes zu einem Mangel eines anderen führt. Aus diesen Gründen muss der Mangel eines Mineralstoffes oder Spurenelementes mit entsprechender Vorsicht behandelt werden (HINTZ 1993). Dabei beziehen sich diese Interaktionen zwar auf die mit der Nahrung aufzunehmenden Elemente, aber es war dennoch von Interesse, ob ähnliche Antagonismen auch bei folgenden Blutparametern erkennbar sind.

Nicht die absolute Kalziumkonzentration im Futter ist bedeutend, sondern das Verhältnis von Kalzium und Phosphor, da ein zu hoher Phosphorgehalt die Kalziumaufnahme aus dem Darm verringert (KEMPSON, 1996). Zwischen dem Kalzium- und dem Phosphorgehalt des Blutes bestand aber bei den Pferden beider Ställe kein Zusammenhang.

Auch behindern übermäßige Kalziumaufnahmen die Verwertung von Eisen (OESTREICHER u. COUSINS, 1985). So konnte ein Zusammenhang zwischen dem Serumkalzium- und dem Serumeisengehalt für die Pferde in Boxenhaltung festgestellt werden. Hier ging eine Erhöhung des Kalziumgehaltes aber mit einer Erhöhung des Eisengehaltes einher. Bei den Pferden in Offenstallhaltung war dagegen kein Zusammenhang dieser beiden Parameter erkennbar.

Auch werden durch Zinkmangel verursachte Verhornungsstörungen häufig durch eine erhöhte Aufnahme von Kalzium hervorgerufen (OESTREICHER u. COUSINS, 1985). Deshalb empfehlen ROSTAN und Mitarbeiter (2002), Kalzium- und Zinksupplemente zu verschiedenen Tageszeiten zu verabreichen. Im Rahmen dieser Studie bestand zwischen dem Kalzium- und Zinkgehalt im Blut bei den Pferden beider Ställe allerdings kein Zusammenhang.

Diskussion

Die Verwertung von Magnesium kann ebenfalls durch eine übermäßige Kalziumaufnahme vermindert werden (OESTREICHER u. COUSINS, 1985). In Offenstallhaltung konnte bezüglich dieser Blutparameter keine Korrelation festgestellt werden, wohingegen bei den Pferden in Boxenhaltung ein solcher Zusammenhang zwischen diesen zwei Parametern bestand.

Ferner bewirkt eine übermäßige Aufnahme von Phosphor neben einer gestörten Kalziumaufnahme auch eine Verringerung der Magnesium- und Kaliumabsorption (HINTZ u. SCHRYVER, 1976; HINTZ u. SCHRYVER, 1992). Ein solcher Zusammenhang bestand bei den untersuchten Pferden und Ponys weder zwischen dem Phosphor- und Magnesiumgehalt noch zwischen dem Phosphor- und Kaliumgehalt im Blut.

Ein weiterer wechselseitiger Antagonismus besteht zwischen Kupfer und Zink (OESTREICHER u. COUSINS, 1985) sowie zwischen Kupfer und Eisen (VALBERG u. FLANGAN, 1984). Zwar bestand zwischen den Kupfer- und Zinkgehalten im Blut weder bei den Pferden aus Offenstallhaltung, noch bei den Pferden aus Boxenhaltung ein Zusammenhang, dafür korrelierten der Serumkupfer- und der Serumeisengehalt bei den Pferden aus Offenstallhaltung negativ miteinander, was bedeutet, dass eine Erhöhung des Kupfergehaltes mit einem Abfall des Eisengehaltes im Blut einherging.

Schließlich übt Kupfer auch einen antagonistischen Einfluss auf den Selenhaushalt aus (STOWE, 1980), wobei zwischen diesen zwei Parametern bei den untersuchten Pferden kein Zusammenhang erkennbar war. Die Angaben der verschiedenen Autoren zu diesen wechselseitigen Antagonismen beziehen sich allerdings auf die mit der Nahrung aufgenommenen Mineralstoffe und Spurenelemente und nicht, wie eigens untersucht, auf deren Konzentrationen im Blut. Dies erklärt möglicherweise die für einige Elemente fehlenden Korrelationen bei den untersuchten Pferden, im Gegensatz zu den Angaben aus der Literatur. Dennoch konnten einige dieser wechselseitigen Interaktionen auch bei den untersuchten Blutparametern bestätigt werden.

Daher muss eine Supplementation mit Mineralstoffen und Spurenelementen stets mit Vorsicht erfolgen. Eine Zufütterung mit handelsüblichen Zusatzfuttermitteln zur Behandlung von Hufhornproblemen oder bereits als Prophylaxe gerät in der modernen Pferdehaltung immer mehr in Mode. Dabei sollte von dem Gedanken „viel hilft viel“ Abstand genommen werden und eine solche Supplementation vielmehr auf die individuellen Bedürfnisse des einzelnen Pferdes abgestimmt werden, um somit durch ein Überangebot eines Mineralstoffes den Mangel eines anderen zu verhindern.

Diskussion

Die eigenen Befunde lieferten insgesamt keine eindeutigen Hinweise auf einen Zusammenhang der Konzentrationen einzelner Blutparameter und der Hornqualität. Auch nach PATAN (2001) scheint die absolute Konzentration der Nährstoffe im Blut für die Ausbildung saisonaler Qualitätsunterschiede des Hufhornes nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Eine verminderte Durchblutung des Hufes und ein geringeres Nahrungsangebot müssten im Winter qualitativ minderwertiges Horn zur Folge haben. Meist ist aber das Gegenteil der Fall. Diese unterschiedliche Qualität scheint daher durch die saisonal wechselnde epidermale Proliferationsrate bedingt zu sein. Im Winter ist diese geringer und die jungen Hornzellen werden somit länger über das Blut ernährt, als in der warmen Jahreszeit und reifen daher besser aus, was sich schließlich in qualitativ hochwertigerem Hufhorn äußert.

Zur Beurteilung, ob niedrige Mineralstoff- oder Spurenelementkonzentrationen im Serum eines Pferdes die Ursachen für eine mangelhafte Hornqualität sind, bedarf es daher der Mehrfachanalyse über einen gewissen Zeitraum. Rückblickend müssen die eigenen Befunde insofern kritisch betrachtet werden, da die Blutuntersuchungen in relativ großen Abständen erfolgten und somit nur bedingt aussagekräftig sind. Eine Entnahme von Blutproben in kürzeren Abständen würde eine solche Beurteilung mit Sicherheit erleichtern. Da, wie bereits beschrieben, auf Blutproben zurückgegriffen werden musste, die ohnehin gezogen wurden, war dies allerdings im Rahmen der vorliegenden Arbeit unmöglich. Daher wäre zusätzlich zu einer ausgedehnten Mineralstoff- und Spurenelementanalyse des Blutes, im Rahmen weiterführender Untersuchungen, eine begleitende Bestimmung dieser Parameter im Hufhorn und in den Futtermitteln sinnvoll, da möglicherweise selbst das verminderte Angebot eines Mineralstoffes im Blut noch ausreicht, um die Hufepidermis ausreichend zu versorgen und somit eine angepasste lokale Hornqualität im Pferdehuf zu sichern.

Schlussbemerkungen

Abschließend kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Hornqualität domestizierter Pferde einer Vielzahl saisonaler Veränderungen unterliegt. Dabei weisen diese deutliche Ähnlichkeiten zum wildlebenden Przewalskipferd auf. Im Zuge der Domestikation wurden diese jahreszeitlich bedingten Schwankungen aber vermutlich abgeschwächt. Allerdings konnten diesbezüglich auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Haltungsformen festgestellt werden, was darauf schließen lässt, dass in Hinblick auf Schwankungen der Hornqualität die Haltung der Pferde eine wesentliche Rolle spielt. Ein Ergebnis der eigenen Untersuchungen ist daher, dass frei lebende Hauspferde ähnliche

Diskussion

saisonale Änderungen ihrer Hornqualität an den Tag legen würden, wie ihre von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) untersuchten Verwandten, die Przewalskipferde. Die Vielfalt der angewandten Methoden erbrachte zahlreiche Erkenntnisse bezüglich der auf die Hornqualität des Pferdehufes einwirkenden Faktoren. So spiegelt der Huf diese mannigfaltigen Einflussfaktoren, wie die der Jahreszeit, Haltung und Fütterung deutlich wider. Der Huf ist von enormer Bedeutung für die Einsatzfähigkeit eines jeden Pferdes und anhaltende Probleme eines einzigen Hufes können ein Pferd über lange Zeit „unbrauchbar“ machen. So kann ein Pferd seine volle Leistung nur erbringen, wenn auch die Hufe von guter Qualität sind. Daher dürfen bei dem Kauf eines Pferdes und vor allem in der Zucht die Hufe als Auswahlkriterium nicht vernachlässigt werden, und neben der Hornqualität muss auch das Größenverhältnis von Pferdekörper zu den Hufen beachtet werden. Eine fehlerhafte Hufform oder ein unpassendes Größenverhältnis kann durch Über- und Fehlbelastungen zu langwierigen Problemen und somit kostspieligen Behandlungen führen.

Jegliche Hufhorndefekte und Erkrankungen des Hufes bedürfen der besonderen Aufmerksamkeit durch den Besitzer, den Hufschmied oder den Tierarzt. Hierbei muss besonders darauf geachtet werden, dass selten nur eine Maßnahme zur Verbesserung solcher Probleme ausreicht, sondern die durchzuführenden Maßnahmen gegebenenfalls so vielfältig sein müssen wie auch die Faktoren, die auf das Horn einwirken. Denn auch die beste Fütterung bringt keine Verbesserung, wenn ein Pferd fortwährend im Mist steht und das Horn dadurch angegriffen wird. Hufprobleme nehmen in der tierärztlichen Praxis somit einen hohen Stellenwert ein und auch der Hufpflege und der Hufkorrektur bzw. dem Hufbeschlag durch den Hufschmied kommt eine besondere Bedeutung zu, weshalb ein enges Zusammenarbeiten von Pferdebesitzern, Schmieden und Tierärzten unentbehrlich ist.