

2. Literaturübersicht

2.1. Anatomischer Überblick

2.1.1. Definition des Hufes

Der von ZIETSCHMANN (1918) geprägte Begriff Zehenendorgan umfasst Hufbein, Strahlbein und den distalen Abschnitt des Kronbeins als zentrale Stützteile sowie deren Überzug der modifizierten Haut.

Neben den zentralen Stützteilen sind in der Hornkapsel die paarigen Hufknorpel, die Bursa podotrochlearis, die Endsehnen des gemeinsamen Zehenstreckers und tiefen Zehenbeugers mit Fesselbeugesehnenscheide und Zehenfaszie sowie die zwischen den Strukturen verlaufenden Bänder lokalisiert (HABERMEHL, 1996).

BOLLIGER und GEYER (1992) sehen all diese genannten Strukturen als zentrale Stützteile an.

Darüber hinaus sind das Blutgefäßsystem des Hufes, bestehend aus den Endästen der A. digitalis palmaris lateralis und medialis und den entsprechenden Venen, und das Lymphsystem enthalten. Die nervöse Versorgung wird durch die Endäste des N. digitalis palmaris lateralis bzw. medialis gewährleistet (WISSDORF et al., 1998).

Die Hornkapsel als solche wird im engeren Sinne als Huf verstanden (GEGENBAUER, 1885).

Das Hufbein, Os ungulare ist über den sogenannten Hufbeinträger mit der Hornkapsel verbunden und weist eine dem Hornschuh analoge Form seiner Wandfläche auf. Palmar der Seitenteile findet sich der zweigeteilte Processus palmaris, an dem jeweils der laterale und mediale Hufknorpel ansetzen. Die Wandfläche wird durch den Margo solearis von der Sohlenfläche abgegrenzt, an der sich das Planum cutaneum und die Facies flexoria als Sehnengleitfläche unterscheiden lassen. Die konkave Gelenkfläche des Hufbeins artikuliert mit dem Kronbein und mit einer geringeren Fläche auch mit der Facies articularis phalangis distalis des Strahlbeins (WISSDORF et al., 1998).

Die Hufknorpel, Cartilago ungularis medialis und lateralis, überragen mit ihrem proximalen Drittel den Kronrand und liegen somit nur zu zwei Dritteln innerhalb der Hufkapsel. Die

Hufknorpel sind mit dem Hufbein über den Hufbeinast verbunden und bestehen aus Faserknorpel, der zum Durchtritt von Gefäßen Löcher aufweist (WISSDORF et al., 1998).

Das Strahlbein, Os sesamoideum distale besitzt Gelenkflächen zum Hufbein und Kronbein und bildet darüber hinaus die Gleitfläche (Scutum distale) für den Endabschnitt der tiefen Beugesehne. Zwischen Strahlbein und der tiefen Beugesehne liegt der Hufrollenschleimbeutel (Bursa podotrochlearis) (WISSDORF et al., 1998).

2.1.2. Aufbau und Einteilung des Hufes

Der Huf des Pferdes stellt ein spezifisches Hautorgan dar und weist den typischen Aufbau aus den 3 Hautschichten auf (BOLLIGER und GEYER, 1992; NICKEL et al., 1996; SCHMIDT-RIESE, 1951). Von außen nach innen sind dies: die Oberhaut (Epidermis), die Lederhaut (Corium) und die Unterhaut (Subcutis, Tela subcutanea).

Der Huf wird aufgrund seines anatomisch-histologischen Aufbaus in folgende Segmente unterteilt; Saum-, Kron-, Wand-, Sohlen- und Ballen-Strahlsegment (BOLLIGER und GEYER, 1992; NICKEL et al., 1996; ZIETSCHMANN, 1918).

2.1.2.1. Die Hufoberhaut (Epidermis ungulae)

Die Oberhaut stellt die Hornkapsel des Hufes dar und lässt sich in die Hornplatte (Pariet corneus), die Hornsohle (Solea cornea), den Hornballen (Torus corneus/ Torus ungulae) und den Hornstrahl (Cuneus corneus/- ungulae) gliedern (WISSDORF et al., 1987).

Den proximalen Abschluß der Hornplatte bildet der Kronsaum, von dem das Hornwachstum ausgeht. Der Tragrand stellt den distalen Abschluß dar und geht im palmaren/ plantaren Bereich des Hufes an den Eckstrebenkanten in die sich nach axial umschlagenden Eckstreben über (BUDRAS und RÖCK, 1994). Die Hornplatte wird in den Rückenteil und jeweils medial und lateral in einen Seiten- und Trachtenteil unterteilt (NICKEL et al., 1996).

Die Hornsohle wird durch den Tragrand begrenzt und durch den Hornstrahl in zwei Sohlenschenkel geteilt. Der dorsal des Strahls gelegene Bereich der Sohle wird als Sohlenkörper bezeichnet.

Der Hornstrahl selbst geht aus den palmar/ plantar gelegenen durch die Ballengrube getrennten Ballen hervor; er besteht aus zwei Schenkeln, die sich dorsal zur Strahlspitze vereinigen. Die beiden Strahlschenkel sind durch die mittlere Strahlfurche voneinander getrennt und grenzen sich abaxial durch die seitlichen Strahlfurchen von der Hufsohle bzw. den Eckstreben ab (NICKEL et al., 1996).

Das Saumhorn überzieht als dünne Glasurschicht die Hornwand, deren größte Produktion als Kronhorn vom Kronwulst ausgeht. Das Kronhorn ist an der Zehenwand etwa 10 mm dick, und wird über die Seitenwände zur Trachte hin dünner, so dass es dort nur noch eine Stärke von 6-8 mm aufweist (BOLLIGER und GEYER, 1992). Während Saum – und Kronhorn aus Röhrenhorn aufgebaut sind, besteht das darunter liegende Wandhorn aus Blättchen.

Das Stratum germinativum der Epidermis bildet Röhren und Blättchen entsprechend der Proliferationen der Lederhaut. Zwischen den Röhren liegt das Zwischenröhrenhorn und zwischen die Hornblättchen sind die breiteren weichen vom Stratum germinativum überzogenen Sekundärblättchen geschoben (BOLLIGER und GEYER, 1992). Die hohe Elastizität des Strahlhornes wird durch den geschlängelten Verlauf der Hornröhren ermöglicht. Das Strahlhorn wird ebenfalls aus Röhrenhorn gebildet (BOLLIGER und GEYER, 1992).

Die Dicke der Hornwand nimmt von der Zehe zu den Trachten hin kontinuierlich ab, so dass die Trachten nur noch die Hälfte der Zehenwandhorndicke aufweisen (GEYER, 2003).

2.1.2.2. Die Huflederhaut (Corium unguulae)

Die Lederhaut, die die Patrizie zur Hufoberhaut als Matrize darstellt, bedingt die enge Verbindung zwischen Oberhaut und Unterhaut im Huf. Im Bereich des Hufbeins fehlt die Unterhaut zum Großteil, so dass die Lederhaut direkt Epidermis und Hufbein verbindet. Die Huflederhaut ist reich an Gefäßen und Nerven (HERTSCH, 1973) und stellt somit die Ernährung der Hornepidermiszellen sicher (HABERMEHL, 1996; NICKEL et al., 1996).

Der Papillarkörper trägt in den verschiedenen Hufsegmenten Zotten (Papillae) oder Blättchen (Lamellae) (NICKEL et al., 1996). Während die Wand Blättchen trägt, weist die Lederhaut an Saum, Krone, Sohle, Strahl und Ballen Zöttchen auf. Das gefäßreiche Stratum reticulare (Stratum vasculosum) ist stark an Krone und Tragrand ausgebildet, jedoch am Strahl nur schwach und geht in die Polster über (NICKEL et al., 1996).

Aufgrund ihrer Weichheit und der großen Blutfülle wirkt die Lederhaut stoßbrechend (NICKEL et al., 1996).

2.1.2.3. Die Hufunterhaut

Im Saum-, Kron-, Strahl- und Ballenbereich des Zehenendorgans nimmt der Anteil an Bindegewebe und Baufettgewebe zu und führt zur Bildung der sogenannten Polster/ Kissen (NICKEL et al., 1996). Im Bereich der Wand und der Sohle bildet die Unterhaut das Periost des Hufbeins und das Perichondrium der Hufknorpel (BUDRAS und RÖCK, 1994; NICKEL et al., 1996).

Zwei Systeme von kollagenen Faserbündeln finden sich in der Subkutis der Hufsohle; das eine überzieht Hufbein und Hufknorpel und dient der Zugübertragung von Wand auf die Sohlenschenkel sowie der Weiterleitung in das Ballen- und Strahlpolster. Das andere Bündel kollagener Fasern entspringt von der Sohlenfläche des Hufbeins und zieht schräg distal in die Sohlenlederhautzotten und Zottenbasen (SCHMIDT-RIESE, 1951).

2.1.3. Das Blutgefäßsystem des Hufes

Äste der Arteria digitalis palmaris/ plantaris lateralis und medialis sind für die Blutversorgung des Hufes zuständig.

Der Übersichtlichkeit halber soll hier nur auf die Gefäße eingegangen werden, die das Strahl- und Ballenpolster versorgen oder in dessen unmittelbarer Nähe liegen.

Neben Ästen an die Krone und die Endphalangen wird der Ramus tori digitalis zum Hufkissen abgegeben, wo er sich in axiale und abaxiale Äste teilt (KAINER, 1989; WISSDORF et al., 1998; NICKEL et al., 1996). Abaxiale Äste versorgen das Korium von Strahl, Krone, Trachten und Eckstreben (KAINER, 1989). Der axiale Ast zieht zur Strahlspitze und anastomosiert dort häufig mit der Gegenseite (KAINER, 1989). Weiter distal entspringt aus der Digitalarterie der dorsale Ast für das Hufbein, aus dem die Palmar-/ Plantararterie (Ramus palmaris/ plantaris phalangis distalis) des Hufbeins hervorgeht. Diese führt das Blut dem Hufkissen und dem Strahlkorium zu (KAINER, 1989; NICKEL et al., 1996).

Distal des Strahlbeins besteht eine Querverbindung zwischen den Aa. digitales palmares/plantares zum Arcus terminalis (KAINER, 1989; WISSDORF et al., 1998).

Der venöse Abfluß wird von zwei parallel verlaufenden axialen und abaxialen Venen aus dem Canales solaris sichergestellt, die sich palmar des Hufbeins zur Terminalvene zusammenschließen. Die Terminalvene zieht axial des Hufknorpels, erhält dort Äste des inneren venösen Plexus und wird als Vena digitalis lateralis bzw. medialis bezeichnet (KAINER, 1989). Aus dem Venengeflecht zwischen Hufknorpel und Hufpolster stammen weitere Venenäste von Kronbein, Saum-Kronwulst und der V. marginis solearis (NICKEL et al., 1996). Distal und sohlenwärts löst sich der Plexus in sogenannte Binnenvenen auf, die an die Lederhaut von Ballen, Strahl, Eckstreben, Sohle, Wand, Huf- und Strahlbein, Hufgelenk, Hufrollenschleimbeutel und Beugesehnenscheide treten (NICKEL et al., 1996). Die Venae digitales erhalten weiteren Zufluß aus der Ballenregion durch die beidseitig ausgebildete Vena tori digitalis, die in der Ballengrube mit der Vene der anderen Seite anastomosiert (NICKEL et al., 1996). Diese Ballenvene gibt Äste an die Haut im Bereich des Kron-Saumwulstes ab.

2.1.4. Der Bandapparat und die Sehnen des Hufes

Zu den Bändern des Hufgelenkes zählen die Seitenbänder sowie die Strahlbeinbänder. Die Seitenbänder verlaufen von den Bandgruben des Kronbeines zum Hufbein. Ein Teil dieser beiden Seitenbänder liegt unter den Hufknorpeln und ist teilweise mit diesen verwachsen (BREIT, 1994).

Es existieren drei Strahlbeinbänder, wobei die paarigen Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Lig. sesamoideum collaterale mediale und laterale) dorsal der Fesselbein-Seitenbänder am Fesselbein entspringen und unter Abgabe eines Astes an das Hufbein und den Hufknorpel der jeweiligen Seite lateral und medial am Strahlbein inserieren. Das Lig. sesamoideum distale impar verläuft zwischen dem distalen Rand des Strahlbeins und der Palmar-/ Plantarfläche des Hufbeins (RIEGEL, 1999) und verstärkt distal die Gelenkkapsel des Hufgelenkes (WISSDORF et al., 1998).

Die Hufknorpel sind von ihrem distalen Rand aus über Bänder mit dem jeweiligen Hufbeinast (Ligg. chondrangularia collaterale mediale et laterale), von ihrer Axialseite mit dem Strahlbein (Ligg. chondrosesamoidea mediale et laterale) und von ihrem dorsalen Rand mit

dem Kronbein (Ligg. chondrocoronalia mediale et laterale) verbunden (NICKEL et al., 1992). Die Fesselbein-Hufknorpel-Hufbeinbänder (Ligg. compedochondrangularia mediale et laterale) inserieren am Proximalrand und der Axialfläche der Hufknorpel. Von der Axialseite der Hufknorpel verlaufen die gekreuzten Hufknorpelbänder (Ligg. chondrangularia cruciatae) zum Hufbeinast der gegenüberliegenden Seite (NICKEL et al., 1992). Des Weiteren strahlen Faserzüge (Ligg. chondropulvinalia) von der Axialfläche des Hufknorpels in das Hufkissen ein (NICKEL et al., 1992).

Die Zehenfaszie bildet im Sohlenbereich als Bestandteil der Zehenbinde die Sohlenbinde, die von der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers abstammt. Palmar/ plantar umgurtet sie die tiefe Beugesehne und inseriert mit dieser am Hufbein (NICKEL et al., 1992; WISSDORF et al., 1998).

Während die oberflächliche Beugesehne bereits an der Kronbeinlehne unter Aufspaltung in zwei Schenkel inseriert, zieht die tiefe Beugesehne unter ihr hindurch, gibt einen Verbindungsschenkel an das Kronbein ab und besitzt im Kontaktbereich mit der Strahlbeingleitfläche einen knorpeligen Überzug, so dass sich der Sagittalkamm des Strahlbeins in der Sehne als Vertiefung darstellt. Anschließend inseriert sie unter Abflachung und Auffächerung an der Facies flexoria und der Linea semilunaris des Hufbeins (BREIT, 1994).

Die Sehne des M. extensor digitalis communis sendet einen Schenkel an den Processus extensorius des Kronbeins ab und endet am Streckfortsatz des Hufbeins (NICKEL et al., 1992).

2.2. Die Hufformen

Die verschiedenen Hufformen resultieren aus den Belastungsvorgängen, die am Huf vorliegen. Wandabschnitte mit höherer Belastung wachsen langsamer (BAUER, 1954; YOUNG, 1993) und nutzen sich stärker ab (SCHOLZ und KUNI, 1942), als weniger belastete Abschnitte der Hornkapsel.

Es werden die physiologischen von den pathologischen Hufformen unterschieden.

2.2.1. Die physiologischen Hufformen

2.2.1.1. Der regelmäßige Huf

Der regelmäßige Huf zeigt in der Vorderansicht von der Krone bis zum Tragrand eine symmetrische Form. Die Sohle ist leicht konkav gewölbt und der Strahl gut entwickelt (KAINER, 1989).

Beim regelmäßigen Huf beträgt der Winkel zwischen Sohle und Zehenwand 45° - 50° am Vorderhuf und 50° - 55° am Hinterhuf (RUTHE, 1988; PRIETZ, 1985). Hinsichtlich der Winkelgröße zwischen Tragrand und Dorsalwand des Hufes zeigen andere Untersuchungen, dass der Wert des Winkels bei regelmäßigen Hufen höher liegt als die von RUTHE (1988) erwähnten Werte. (BUSHE et al., 1987) geben 50° - 55° für den regelmäßigen Vorderhuf an. WISSDORF et al. (1987) geben für die Dorsalwandwinkel von Vorder- ($52^{\circ} \pm 4^{\circ}$) und Hinterhuf ($53^{\circ} \pm 4^{\circ}$) den von BUSHE et al. (1987) ähnliche Grade an.

Der Winkel wird zu den Trachten hin stumpfer und bildet am belasteten Fuß kurz hinter der weitesten Stelle des Hufes nahezu eine Senkrechte zum Erdboden. Die Seitenwände weisen einen Neigungswinkel von etwa 80° auf (RUTHE, 1988), wobei die mediale Wand oft etwas steiler steht (KAINER, 1989; RUTHE, 1978 und 1988; WISSDORF et al., 1987). Der Trachtenwinkel verläuft parallel zum Zehenwinkel (KAINER, 1989).

Zehenwand, Seitenwand und Trachtenwand stehen am Vorderhuf in folgendem Längenverhältnis zueinander 3:2:1, für den Hinterhuf lautet das Längenverhältnis der einzelnen Wandbereiche zueinander 4:3:2 (RUTHE, 1978 und 1988).

Die Form des Tragrandes am Vorderhuf ist halbkreisförmig im dorsalen Bereich, anschließend verlaufen die Hufwände annähernd gestreckt. Die weiteste Stelle befindet sich knapp hinter der Halbierungslinie durch den Huf.

Der Tragrand des Hinterhufes zeigt einen spitzeren Vorderbereich. Die weiteste Stelle liegt etwa am Übergang des zweiten dorsalen Drittels in das plantare Drittel.

An Hufen der regelmäßigen Form entspricht die Breite des Hufes ungefähr dem Längsdurchmesser (GROSSBAUER, 1900).

An den Hinterhufen sind Strahl und Eckstreben oft kräftiger ausgeprägt. Die Sohle ist deutlicher gewölbt als am entsprechenden Vorderhuf (RUTHE, 1988).

2.2.1.2. Der stumpfe Huf

Der Dorsalwandwinkel liegt für den Vorderhuf oberhalb von 50° und oberhalb von 55° für den Hinterhuf. Das Längenverhältnis Dorsalwand: Trachtenwand beträgt etwa 3:2. Vorder- und Trachtenwand verlaufen beim regelmäßig stumpfen Huf parallel. Der stumpfe Huf gehört zur regelmäßig stumpfgewinkelten, rückständigen und rückbiegigen Gliedmaßenstellung oder auch zur bärenfüßigen Stellung (RUTHE, 1988).

Eine Extremform des stumpfen Hufes stellt der Bockhuf dar, dessen Dorsalwandwinkel nahezu 90° beträgt.

2.2.1.3. Der spitze Huf

Der Winkel von der Zehenwand zum Erdboden liegt unterhalb von 45° (Vorderhuf) bzw. $< 50^\circ$ (Hinterhuf). Die Länge der Zehenwand ist somit gegenüber dem regelmäßigen Huf erhöht und das Längenverhältnis Zehenwand zu Trachtenwand ist höher als 3:1. Die Trachten sind weniger stützfähig als beim regelmäßigen Huf und im Gegensatz zur dicken und langen Zehenwand dünn und kurz.

Der spitze Huf findet sich bei regelmäßig spitz gewinkelter, vorständiger und vorbiegiger Gliedmaßenstellung (RUTHE, 1988).

2.2.1.4. Der weite Huf

Der weite Huf zeichnet sich durch einen Neigungswinkel der Seitenwände von 70° und weniger aus. Der Tragrandumfang ist deutlich größer als der des Kronrandes. Gleiches gilt für die weiteste Stelle der beiden Bereiche. Der Tragrandverlauf ist kreisrund. Das Verhältnis von Höhe zu Weite des Hufes beträgt 1:2. Der Strahl ist kräftig und zeigt flache Furchen, die Sohle ist insgesamt nur gering gewölbt. Von der Seite betrachtet ähnelt der weite Huf oft dem spitzen Huf. Der weite Huf tritt hauptsächlich bei schweren Pferden an den Vorderhufen auf (RUTHE, 1988).

Die Bodenfläche ist fast kreisrund, das Horn ist meist grobfaserig (GROSSBAUER, 1900).

Der Strahl ist kürzer als beim regelmäßigen Huf (WISSDORF et al, 1987).

2.2.1.5. Der enge Huf

Die Seitenwände stehen in einem Winkel von fast 90° zum Erdboden und haben meist eine stärkere Tendenz im Trachtenbereich nach innen zu gehen als dies beim regelmäßigen Huf der Fall ist. Die weiteste Stelle im Tragrand übertrifft die des Kronrandes nur geringgradig, so dass der Tragrand länglich-rund erscheint. Die Sohle ist stark gewölbt, der Strahl mäßig entwickelt und die Eckstreben zeigen einen steilen Verlauf (RUTHE, 1978 und 1988).

Die Hornwand ist fest mit wenig Zwischenhorn (GROSSBAUER, 1900; RUTHE, 1978 und 1988).

Der enge Huf kann gleichzeitig von stumpfer Form sein (RUTHE, 1988).

Halbeng-halbweite Hufe werden bei bodenweiter, X-beiniger und zehenweiter Stellung angetroffen. Die laterale Hufwand steht schräger als die mediale Wand, so dass der Tragrand lateral einen größeren Bogen umschreibt. Die innere, steiler gestellte Seitenwand ist im hinteren Drittel und im Trachtenbereich nach innen geneigt.

Beim halbweit-halbengen Huf der bodenengen, O-beinigen und zehenengen Stellung liegen die Verhältnisse umgekehrt (RUTHE, 1988).

2.2.2. Die pathologischen Hufformen

2.2.2.1. Der Flachhuf

Der flache Huf zeichnet sich durch eine nicht gewölbte Sohle aus, die mit dem Tragrand in Verbindung steht (RUTHE, 1988). Die Hornwand ist meist stark geneigt (45°-25°), so dass der Huf insgesamt groß und breit erscheint. Die Trachten können nach außen weichen, so dass es zu Zusammenhangstrennungen in der Eckwand- und Strahlverbindung kommt. Ist der Hufwinkel sehr gering, so sind die Trachten jedoch häufig untergeschoben und eingezogen. Der Strahl ist meist groß mit seichten Strahlfurchen und überragt die Tragflächenebene (PRIETZ, 1985).

Der flache Huf wird in der Regel an den Vordergliedmaßen angetroffen, insbesondere bei Pferden schwerer Rassen (GROSSBAUER, 1900), er kann angeboren oder erworben sein (RUTHE, 1988).

2.2.2.2. Der Vollhuf

Am Vollhuf ist die Sohle im Gesamten oder teilweise nach unten gewölbt.

Die Seitenwände können zum Kronrand parallele Ring- und Rinnenbildungen aufweisen. Der Tragrand ist häufig ausgebrochen. Das Bild des Vollhufes kann sich auf die Sohlenschenkel beschränken, so dass zwischen dem Sohlenkörper- und dem Sohlenschenkelvollhuf unterschieden wird. Die Formveränderung des Hufes zum Vollhuf hin beginnt meist im Bereich der wenig stützfähigen Trachten. Die Trachtenwände können sich nach innen einrollen, die Eckstreben nach außen umschlagen. Auch untergeschobene Trachten treten auf. Der Hornstrahl weist flache Furchen auf und ist insgesamt kräftig entwickelt.

Das Hufbein ist sehr niedrig und kann am äußeren Rand hutkrempeartig aufgewölbt sein (RUTHE, 1988).

Der Vollhuf entwickelt sich aus dem Flachhuf und wird durch die Arbeit auf hartem Boden insbesondere bei schweren Pferden gefördert (PRIETZ, 1985). RUTHE (1988) führt weitere begünstigende Faktoren wie fehlerhaften Beschlag (schmale, enge Eisen), übermäßiges Kürzen von Sohle und Tragrand in der Entstehung des Vollhufes auf.

2.2.2.3. Der Zwanghuf

Der Zwanghuf wird ausgehend von der Lokalisation der Hornkapselverengung in den Trachtenzwanghuf, den Sohlen-, Kronen- und Tragrandzwanghuf unterschieden (PRIETZ, 1985). RUTHE (1988) unterscheidet lediglich den Trachten-, Kronen- und Sohlenzwanghuf.

Der Trachtenzwang zeichnet sich durch eine Verengung im Trachtenbereich unter Verkleinerung des Strahls und Verbiegung der Eckstreben aus. Die Veränderung kann ein- oder beidseitig vorliegen (PRIETZ, 1985; RUTHE, 1988). Es lässt sich der Trachtenzwang des engen und des weiten Hufes unterscheiden (HERTSCH, 2003).

Die zunehmende Konvergenz der Trachtenwände geht mit einer Verkleinerung des Strahlraumes einher (LUNGWITZ, M. 1913 und FISCHER, A. zit. in KNEZEVIC, 1962; FISCHER, 1933; SCHWENDIMANN, 1930). Als Folge des Trachtenzwanghufes kann der Strahl (HERTSCH, 2003; RUTHE, 1988) einschließlich des Strahlpolsters schwinden (RUTHE, 1988). Aufgrund dieser Beeinflussung wird der Trachtenzwanghuf nach TURNER (1992) und TURNER und STORK (1988) durch ein Verhältnis von Strahlbreite: Strahllänge von $< 2/3$ bzw. $< 67\%$ definiert.

Bei einseitigem Trachtenzwang fällt bei der Betrachtung des Hufes von palmar/ plantar auf, dass der Ballen der betroffenen Seite den gesunden Ballen in der Höhe überragt und in der Bewegung zuerst den Boden berührt (SCHWENDIMANN, 1930). Das Hufbein neigt sich infolge des Druckschwundes am Sohlenrand des Hufbeinastes zur gestauchten Hufseite (SCHWENDIMANN, 1930).

Die kontralaterale Hufseite weist eine niedrige und vorgewölbte Trachte auf. Die mittlere Strahlfurche ist sehr tief (HERTSCH, 2003; RIEGEL, 1999). Der einseitige Trachtenzwang findet sich überwiegend auf der inneren Hufseite (RUTHE, 1988).

SCHWENDIMANN (1930) beschreibt den Trachtenzwanghuf zudem als langen und schmalen Huf mit schmerzhaftem Klemmdruck im Trachtenbereich. Lahmheit resultiert aus dem Druck den die Hornkapsel auf die nervenreiche Huflederhaut ausübt (RUTHE, 1988). Die Lahmheit tritt besonders bei Bewegung auf hartem Boden auf (HERTSCH, 2003).

Als Ursache der Zwanghufbildung kommen fehlerhafte Stellungen bei ungleichmäßigem Kürzen der Trachten in Frage, was durch hohe Trachten bei starker Trockenheit des Horns und Strahlfäule noch verstärkt wird (HERTSCH, 2003).

Nach BOLLIGER und GEYER (1992) kommt es an den Trachten schneller zu Verbiegungen als in anderen Segmenten der Hornwand, da hier die Hornwandstärke am geringsten ist.

Nach einer Resektion des Strahles kann immer eine Zwanghufbildung beobachtet werden, die bei Bewegung des Tieres jedoch wieder rückläufig wird (KNEZEVIC, 1962).

Der Trachtenzwang des weiten Hufes zeichnet sich durch eine Trachten-Eckstrebenkante, aus die nicht mehr parallel zur Zehenwand verläuft. Die Trachten sind oft eingerollt und untergeschoben (HERTSCH, 2003). Strahl, Ballen und Strahlpolster sind hier jedoch meist gut entwickelt (RUTHE, 1988). Die weiteste Stelle des Hufes verschiebt sich nach palmar bzw. plantar, und die Trachtenwand wölbt sich nach außen vor (HERTSCH, 2003).

Als Ursache kommen Veränderungen in Betracht, die die Statik und Belastung am Huf beeinflussen wie fehlende Bewegung, zu enge Hufeisen und zu lange Vorderwand (PRIETZ, 1985; RUTHE, 1978 und 1988). Weite und zugleich spitze Hufe gehen mit einer hohen Belastung der Trachten einher, so dass hier die Ausbildung eines Trachtenzwanges insbesondere bei schweren Pferden häufig ist (RUTHE, 1988).

Der Sohlenzwanghuf weist eine Verringerung des Längsdurchmessers des Hufes und untergeschobene Trachten auf. Die Vorderwand verläuft konvex, der Querdurchmesser übertrifft den Längsdurchmesser. Eine lose Wand ist oftmals an der Stelle der größten Weite ausgebildet (PRIETZ, 1985; RUTHE, 1978 und 1988). Vor der Strahlspitze fällt eine

Wölbung der Sohle auf (RUTHE, 1978 und 1988). Der Sohlenzwanghuf kommt vor allem bei Pferden mit starken Vorderwänden und zu kurzen Beschlägen vor. Darüber hinaus kommen breit in die Vorderwand eingelassene Eisenaufzüge und mangelhaftes Kürzen der Dorsalwand als Ursache des Sohlenzwanges in Frage (PRIETZ, 1985). Eine Lahmheit tritt vor allem auf weichem Boden auf (RUTHE, 1978 und 1988).

Eine Verengung direkt unterhalb der Krone charakterisiert den Kronenzwanghuf, wobei besonders Seiten- und Trachtenwände betroffen sind, und nur in hochgradigen Fällen die Einengung den ganzen Huf umfasst (RUTHE, 1978 und 1988). Die Ausbildung des Kronenzwanges resultiert aus der Lastübertragung ausschließlich auf den Aufhängemechanismus des Hufbeins bei Hufen, an denen die Sohle nicht mehr an der Lastaufnahme mitwirkt. Ein Trachtenzwang kann gleichzeitig vorliegen. Die Entstehung des Kronenzwanges wird häufig bei Pferden mit weiten Hufen beobachtet, die von der Arbeit auf weichem Boden auf harten Untergrund wechseln. Betroffene Pferde zeigen einen klammen Gang (RUTHE, 1978 und 1988).

Beim Tragrandzwanghuf ist der Umfang des Tragrandes geringer als am Kronrand. Die Seitenwände stehen steil. Der Hufmechanismus ist deutlich eingeschränkt; Hufknorpelverknöcherungen können die Folge sein. Der Trachtenzwanghuf kann beim weiten und beim engen Huf auftreten. Der weite Huf weist hierbei untergeschobene Trachten neben einem kräftigen Strahl auf, während sich der Trachtenzwang des engen Hufes in hohen Trachten, einem schmalen Strahl und meist enger Ballengrube und tiefer zentraler Strahlfurche äußert (HERTSCH, 2003).

Zwang des Tragrandes resultiert aus längerer Fehlbelastung infolge von Gliedmaßenerkrankungen oder fehlender Bewegung bei jungen Pferden (PRIETZ, 1985).

2.2.2.4. Der Umformungshuf

Ursache für den Übergang in eine stumpfere Hufform sind monatelange Nicht- oder Minderbelastungen und krankhaft bedingte steile Fesselstände. Die Vorderwand verläuft konkav, während die Trachtenwände konvex stehen (PRIETZ, 1985; RUTHE, 1988).

2.2.3. Veränderungen der Trachten

Untergeschobene Trachten liegen vor, wenn der Winkel im Trachtenbereich mindestens um 5° geringer ist als der Zehenwinkel (TURNER, 1992; TURNER und STORK, 1988).

RUTHE (1988) rechnet die untergeschobenen Trachten dem Trachtenzwanghuf zu, bei dem die Trachtenwände schräger verlaufen als die Zehenwand, d.h. die Zehenlinie und die Trachtenlinie sind nicht parallel zueinander. Oft treten untergeschobene Trachten bei spitzen, weiten oder flachen Hufen auf (RUTHE, 1988). Bei anderen Hufformen kann sich die Trachtenwand ebenfalls nach innen umschlagen und somit den Tragrand überlagern. Hierbei sind Strahl und Ballen in ihrer Ausbildung in der Regel uneingeschränkt (RUTHE, 1988).

Außer den untergeschobenen Trachten unterscheidet man von den regelmäßig geformten Trachten die im englischen Sprachgebrauch als »Sheared heels« bezeichneten Trachten. Bei diesen besteht ein Unterschied von mindestens 0,5 cm in der Höhe der lateralen und medialen Trachte eines Hufes (TURNER und STORK, 1988). In schweren Fällen rollt sich die Hufwand auf der betroffenen Seite unter die Trachte sohlenwärts ein (REEVES et al., 1989). Hornspalten und Strahlfäule können assoziiert sein (REEVES et al., 1989).

2.3. Die Lastaufnahme am Huf

2.3.1. Die Fußung und Krafteinwirkung auf den Huf

KÜNG (1991) erwähnt, dass die durch die Rückbildung der Fußstrahlen auf den dritten Strahl zum reinen Zehenspitzenwärtler erfolgte Entwicklung mit einem Verlust der Stoßbrechung einhergeht. Diese verloren gegangene Elastizität aber wahrscheinlich durch den speziellen Aufbau im Inneren der Hornkapsel zum Teil aufgefangen wird.

FUCHS (1994) führt in ihrer Arbeit als stoßdämpfende Einrichtungen auch die Hornwand an, die durch eine dünnere Beschaffenheit im palmaren / plantaren Bereich sowie die Bildung der Eckstreben, die Grundlage für die mögliche Bewegung der Hornwand nach außen liefert. Die Hufknorpel und das Gefäßnetz im Huf erfüllen ebenfalls Aufgaben der Stoßbrechung.

Neben den Hufpolstern fungieren die besondere Aufhängung der Vordergliedmaße und die Winkelung der Gliedmaßen durch die knorpelüberzogenen Gelenke als stoßbrechende

Einrichtungen. Der schrägen Fußung von hinten-oben nach vorn-unten kommt weitere Bedeutung zu (RUTHE, 1988).

SMEDEGAARD und VINDRIIS (1995) stellen fest, dass meist die äußere Seite der Hornkapsel den Boden zuerst berührt. SCHRYVER et al. (1987) beobachten ein unmittelbares planes Fußes, und nur in seltenen Fällen eine Fußung beginnend mit den Trachten. BARREY (1990) stellte durch Messungen im Schritt mit einem Kraftmessschuh fest, dass die vertikalen Hufkräfte zuerst und mit größeren Amplituden unter den Trachten auftreten. Darüber hinaus fand er eine Mehrbelastung unter den Trachten spitzer Hufe. Ebenso beschreibt KAINER (1989) das Aufsetzen beginnend mit den Trachten.

Eine andere Studie schildert den Fußungsvorgang im Schritt mit Beginn des Aufsetzens des Sohlenbereiches, wobei meist der unter der lateralen Trachte angebrachte Kraftaufnehmer zuerst den Boden berührte. Ein zeitgleiches Aufsetzen beider Trachtenseiten war nur selten zu erkennen, während der Bodenkontakt von lateraler Trachte und Zehenspitze häufiger eintrat. Demzufolge waren die unter der lateralen Trachte gemessenen Kräfte oft größer (DOHNE, 1991). Bei der Trabmessung wurde hingegen ein in der Regel gleichzeitiger Kraftanstieg unter beiden Trachten registriert, ehe eine Umverteilung der Kraft auf die Zehenspitze beim Absetzen erfolgt (DOHNE, 1991).

DOHNE (1991) berechnete den durchschnittlichen Gesamtkraftangriffspunkt am Huf für den Stand, Schritt und Trab. Der Gesamtangriffspunkt ist hierbei immer nahe des Schnittpunktes der Längs- und Querhalbierungslinie durch den Huf zu finden.

Seine genaue Lage ist der von DOHNE (1991) übernommenen Zeichnung zu entnehmen:

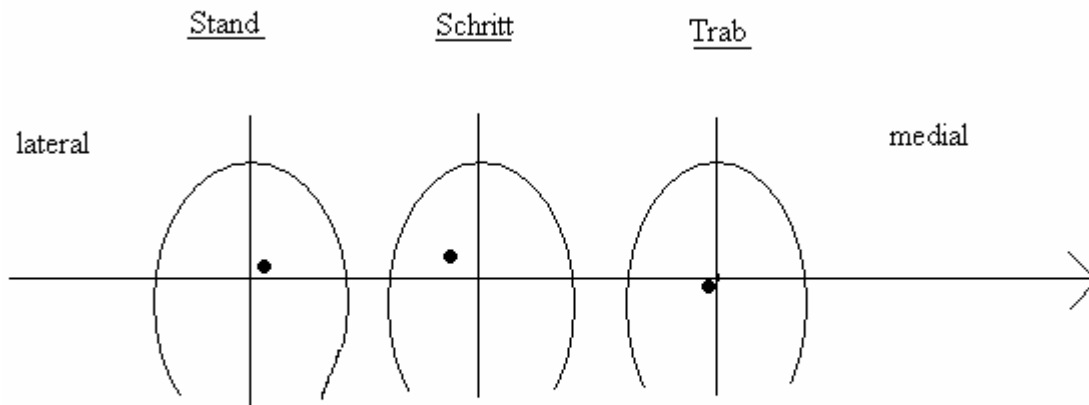


Abb. 1: Lage des Gesamtkraftangriffspunktes am Huf im Stand, Schritt und Trab.

Durch Untersuchungen des Gesamtkraftangriffspunktes am Huf an 54 Vordergliedmaßen im Stand konnte keine Beeinflussung desselben durch Gliedmaßen- und Zehenstellung, Hufform oder Huf-/ Fesselstandverhältnisse festgestellt werden (DOHNE, 1991).

Im Schritt wurde jedoch eine Verlagerung des Gesamtkraftangriffspunktes bei weiten Hufen nach lateral und palmar gegenüber regelmäßigen Hufen gefunden (DOHNE, 1991).

Eine Verlagerung des Kraftangriffspunktes im Schritt und Trab nach dorsal tritt bei einer Erhöhung des Zehenwinkels auf (DOHNE, 1991). Spitze Hufe haben den Gesamtkraftangriffspunkt palmar der Mittellinie durch den Huf. Bei weiten Hufen liegt der Gesamtkraftangriffspunkt weiter lateral als bei regelmäßigen Hufen

Beim Rehehuf ist der Strahl stark entwickelt und die Belastung des Hufes findet hauptsächlich im palmaren Abschnitt statt (RUTHE, 1955).

Die Druckbelastung auf den distalen Teil der Gliedmaße steigt mit dem Gewicht des Tieres (und des Reiters) und nimmt im Quadrat der Geschwindigkeit zu (RUTHE, 1988).

Mathematisch gilt folgende Formel: $E = m \times V^2$

Die kinetische Energie E wird durch die auf den Huf wirkenden Stoßkräfte bedingt, und ist in ihrer Größe von der Masse (m) und der Geschwindigkeit (V) abhängig (SMEDEGAARD und VINDRIIS, 1995). Im Augenblick des Fußens im Trab verzeichneten die Messgeräte Oszillationen, die DOHNE (1991) auf die erhebliche Erschütterung im Hornschuh zurückführt.

Die vertikal auf den Huf wirkenden Kräfte betragen maximal 0,6 x KGW im Schritt und 0,9 x KGW im Trab. Die auf den Karpalknochen weitergeleitete komprimierende Kraft beträgt 2,4 x KGW bzw. 4,9 x KGW für Schritt bzw. Trab auf harten Boden (SCHRYVER et al., 1987). Eine zunehmende Festigkeit des Untergrundes bedingt einen Anstieg der Amplitude der auf den Huf einwirkenden Kraft (FREDERICK und HENDERSON, 1970).

Die vertikal auf den Huf einwirkenden Kräfte sind bei den Hufen am geringsten, in denen Dorsalwandwinkel und Zehenachse zueinander parallel sind (BALCH, 1994).

Die Größe dieser auf die Gliedmaße einwirkenden Kräfte macht deren Bedeutung in der Entstehung von Erkrankungen des distalen Bewegungsapparates deutlich (SCHRYVER et al., 1987). Nach GUSTAS et al. (2001) stellen sie einen Faktor in der Entstehung von Osteoarthrose dar.

2.3.2. Der Hufmechanismus

2.3.2.1. Der Hufmechanismus regelmäßiger Hufe

Entgegen der früheren Annahme, dass der Huf keine Bewegung seiner selbst erfährt, wird heute die Verengung und Erweiterung verschiedener Hufabschnitte während der Be- und Entlastung des Hufes als Hufmechanismus bezeichnet. In der Belastungsphase des Hufes sinkt der obere dorsale Abschnitt der Hufwand ein, während sich die Trachtenwände (hinter der weitesten Stelle des Hufes) erweitern und sich Sohle wie auch Strahl zum Boden senken. Wird der Huf entlastet, so bewegt sich der Huf in seine Ausgangslage zurück (FISCHERLEITNER, 1974; RUTHE, 1955).

Mit dem Ziel der Aufklärung des Hufmechanismus beschäftigen sich bereits seit dem 18. Jahrhundert zahlreiche Studien.

Die über lange Zeit hauptsächlich vertretenen Auffassungen über das Zustandekommen der Bewegungen des Hufes sind im Folgenden dargestellt:

Die Drucktheorie geht von einer Verformung des Strahlpolsters aufgrund der von oben einwirkenden Kraft (der Körperlast) aus, der ein Gegendruck durch den Untergrund entgegengebracht wird. Hierbei hat der Strahl Bodenkontakt, so dass sich der Druck von unten auf das Strahlpolster auswirken kann. Das Strahlpolster dehnt sich als Folge seitlich aus, wobei die Hufknorpel mechanisch nach außen gedrückt werden. Das Auseinanderweichen der Hufstrukturen setzt sich auf die Trachtenwände fort. Diese

Hypothese wird auch als Strahlpolstererweiterungstheorie bezeichnet (SMEDEGAARD und VINDRIIS, 1995).

BRUHNKE (1931) weist jedoch darauf hin, dass bei dieser Theorie das Strahlpolster in seiner Ausweichbewegung den Weg des größten Widerstandes wählen würde, und sieht die Bewegung zur Ballengrube als logischer an.

Die Erweiterung des Hufes resultiert nach der Depressionstheorie aus der Übertragung der von oben einwirkenden Körperlast über den Hufbein-Aufhängeapparat in eine Zugkraft. Der Zug wirkt in Richtung Hufmitte, so dass der proximale Teil der dorsalen Hufwand nach hinten und unten gezogen wird, während sich die Trachten erweitern (FISCHERLEITNER, 1974; HARDERS, 1985; MARTENS, 1953; RUTHE, 1955; SMEDEGAARD und VINDRIIS, 1995).

SMEDEGAARD und VINDRIIS (1995) stellen eine dritte Theorie zur Erklärung des Hufmechanismus auf; Hierbei werden die Stoßkräfte des Bodens als Federspannungen auf das Blattfedersystem der Hornkapsel übertragen, was in deren Erweiterung resultiert.

Mittels eines Computermodells der Hornkapsel eines Pferdehufes können die Verformungen der Hornkapsel sichtbar gemacht werden. Wird dem Modell ein normal geformter unbeschlagener Huf zugrunde gelegt, so zeigt sich auf dem Bildschirm ein Zurückweichen der Zehenwand, während Seiten- und Trachtenwand eine Bewegung nach außen vollführen. Diese Bewegungen sind im Kronrandbereich stärker als im Tragrandbereich. Der Strahl nähert sich unter der Belastung dem Boden an. Am Computermodell wird eine Anhebung von Ballen und Sohle festgestellt (HINTERHOFER, 1997).

Kontrovers wird insbesondere diskutiert, ob der Strahl aktiv an der Aufnahme des Körpergewichts beteiligt ist, indem er unter der Belastung Bodenkontakt hält.

Hufe, bei denen der Strahl komplett weg geschnitten wurde, zeigen dennoch eine Expansion des Hufes wenn Last aufgenommen wird (VERSCHOOTEN et al., 1996).

COLLES (1989) stellt ebenfalls die These auf, dass der Druck auf den Strahl per se nicht essentiell für die Expansion des Hufes ist.

ROEPSTORFF et al. (2001) kommen in ihrem Versuch über die in vivo und in vitro Trachtenexpansion zu dem Ergebnis, dass die Trachtenbewegung größer ist, wenn der Strahl unter Belastung Bodenkontakt hat und wenn die Trachten hochgestellt sind. APPELBAUM (2001) kommt anhand seiner Untersuchungen zu der Ansicht, dass das Bewegungsverhalten der Trachtenwände bei Belastung für jeden Huf individuell ist.

VERSCHOOTEN et al. (1996) konnten mit Hilfe der Computertomographie an einem isolierten Pferdefuß, der in einer kalibrierten Presse belastet wurde, eine Kompression des Strahlpolsters nachweisen.

2.3.2.2. Der Hufmechanismus bei nicht regelmäßigen Hufen

Bereits 1903 sagt HEIZER aus, dass der Hufmechanismus in seiner Ausprägung von der Hufform abhängig sei. Er spricht Hufen mit langer Zehe und engen Hufen im Gegensatz zu regelmäßigen Hufen eine geringere Hufbewegung zu. (HEIZER, 1903)

Bei engen Hufen ist die Bewegung am Kronrand verstärkt und am Tragrand vermindert, während bei weiten Hufen die Bewegung ausgeglichen ist. Weist der Huf eine spitze Form auf, so zeigt sich die Kronrandbewegung unruhig. Die Ursache ist in einer Mehrbelastung der schwachen, niedrigen Trachtenwände zu suchen (SCHOLZ, 1952). Durch derb-elastische Hufeinlagen wird die Bewegung ausgeglichener (SCHOLZ, 1952).

Bei Trachtenzwanghufen wird ein Federn der Kronrandbewegung beobachtet (SCHOLZ, 1952), welches eine Disposition für Hufknorpelverknöcherungen und Hornspalten mit sich bringen soll (RUTHE, 1950).

Der Hufmechanismus am Zwanghuf unterscheidet sich wie folgt vom regelmäßigen Huf: verringerte Erweiterung des Tragrandes im Trachtenbereich bis hin zu einer Verengung in einzelnen Fällen und Erweiterung des Trachtenkronrandes. Aufgrund der geänderten Druckverhältnisse ist das Auftreten von Steingallen in Eckstreben und Trachtenwand und Hornspalten im Trachtenkronrand zu erklären(LUNGWITZ, 1890).

Die von MARTENS (1953) angefertigten Ungulogramme zum Hufmechanismus an 16 chronischen Rehehufen (Knollhuf mit verbreiteter weißer Linie, Senkung des Kronbeins und zum Teil Rotation des Kronbeins) zeigen eine verkürzte Fußung und eine geringere Hornwunderweiterung im Vergleich mit gesunden Hufen. Findet sich an Rehehufen gleichzeitig eine Hufknorpelverknöcherung, so ist der Hufmechanismus fast vollständig aufgehoben.

Vollständige Verknöcherung der Hufknorpel führt allgemein zu einer starken Behinderung des Hufmechanismus (ACKERBLUM, 1930; LUNGWITZ, 1883; SCHOLZ, 1952).

Sprödes, hartes Hufhorn weist gegenüber weichem Horn weniger harmonische Übergänge zwischen den einzelnen Bewegungsphasen auf (SCHOLZ, 1952).

FAMBACH (1886) glaubt, dass die geringere Dichte der Hornblättchen an der Zehenwand bei stumpfen Hufen eine geringere Hufbeinsenkung während des Hufmechanismus zur Folge hat.

2.4. Zusammenhang zwischen Hufkonformation und Lahmheit

Erhöhte auf den Huf einwirkende Erschütterungskräfte werden als mögliche Ursache für die Entstehung der Podotrochlose angesehen (TURNER und STORK, 1988). Als prädisponierende Faktoren kommen hierfür in Frage: gebrochene Zehenachse, ungleiche Zehenwinkel (mehr als 2° Unterschied) der Vorderhufe, untergeschobene Trachten, Trachtenzwang, unterschiedlich lange Trachten ($\geq 0,5$ cm) und in Relation zum Körpergewicht sehr kleine Hufe.

TURNER und STORK (1988) fanden in ihrer Untersuchung über die Koinzidenz fehlerhafter Hufformen mit Strahlbeinerkrankung in Tabelle 1 aufgelistete Ergebnisse.

Tabelle 1: Prozentuales Vorkommen der Podotrochlose bei einigen Hufkonformationen nach TURNER und STORK (1988).

Pferde	mit Podotrochlose (%)	ohne Podotrochlose (%)
mit Trachtenzwang	73	22
mit untergeschobenen Trachten	77	52
mit ungleich hohen Trachten	33	12
mit kleinen Hufen	15	2
mit ungleichen Zehenwinkeln der Vorderhufe	29	28

MOYER (1979) sieht untergeschobene Trachten ebenfalls in einem Zusammenhang mit der Hufrollenerkrankung, während SNOW und BIRDSALL (1991) eingengte und/ oder unterschiedlich hohe Trachten vermehrt bei Podotrochlose finden.

Im Fall von untergeschobenen Trachten konzentriert sich ein größerer Teil der Erschütterung im Trachtenbereich des Hufes (BALCH et al., 1995; GEYER, 2003; MOYER und ANDERSON, 1975 b).

Trachtenzwanghufe bedingen ebenfalls eine stärkere Erschütterung pro Flächeneinheit Huf (GEYER, 2003; REID, 1980; STASHAK, 1987; TURNER und STORK, 1988), ebenso wie Hufknorpelverknöcherungen (ROONEY, 1975; SCHNEIDER und STICKLE, 1987; STASHAK, 1987).

Unausgeglichener Beschlag oder fehlerhafte Hufkonformation können Ursache für eine stärkere Erschütterung der Hufknorpel sein.

WAXBERG (1953) findet bei schmalen, engen Hufen eine größere Inzidenz von Hufknorpelverknöcherungen verglichen mit weiten Hufen. Er stellte jedoch keine Korrelation mit der Hufgröße fest.

Nach MILNE (1967) können in engen Hufen die Hufknorpelverknöcherungen Ursache für Lahmheiten sein. REEVES et al. (1989) sehen Hufknorpelverknöcherungen nur selten als Lahmheitsursache an. Diese sind im Zweifelsfall durch perineurale Anästhesie des Palmarnervens der betroffenen Seite zu prüfen.

Die Verknöcherung der Hufknorpel kann jedoch die Hufbewegungen herabsetzen und demzufolge eine Prädisposition für den Trachtenzwanghuf darstellen (REEVES et al., 1989).

Der Trachtenzwanghuf kann Quetschungen, Blutungen und Entzündung der eingeschlossenen Hufteile (Huflederhaut) bedingen und somit zu Lahmheiten führen (KNEZEVIC, 1962). Andererseits kann der Trachtenzwanghuf sich aus einer Lahmheit infolge einer Erkrankung wie der Podotrochlose entwickeln (KNEZEVIC, 1962).

Flach geneigte Hufwände, wie sie sich oft bei langer Zehe finden, stellen eine Prädisposition für verschiedene Lahmheiten dar (CLAYTON, 1987). Bei spitzer Zehe ist die Belastung zum Zeitpunkt des Abrollens höher als beim regelmäßigen Huf (GEYER, 2003). Eine mit niedrigen Trachten einhergehende lange Zehe erhöht die Wahrscheinlichkeit für Erkrankungen des Unterstützungsbandes oder der Tiefen Beugesehne aufgrund verstärkter Spannung auf diese Strukturen (BUSHE et al., 1987; CLAYTON, 1987; MOYER, 1979; MOYER, 1975 a) sowie eine mögliche Minderung der Hufexpansion (CLAYTON, 1987). Darüber hinaus wird dieser Hufkonformation eine Rolle in der Ausbildung des Trachtenzwanges zugeschrieben (DOLLAR, 1898; EMERY et al., 1977; EVANS et al., 1977; HAYES, 1968; LUNGWITZ, 1966).

Unterschiedliche Höhe der Trachten eines Hufes führt zu einer ungleichen Verteilung der einwirkenden Kraft im Huf (TURNER und STORK, 1988) und kann zu einer chronischen Lahmheit führen (REEVES et al., 1989).

2.5. Messungen an der Hufkapsel

KANE et al. (1998) weisen darauf hin, dass in der Literatur nur wenige Methoden für verständliche, quantitative Hufmessungen zu finden sind und führen diesbezüglich die Untersuchungen von TURNER (1992) und von SNOW und BIRDSALL (1991) auf.

HELMAN et al. (2002) führen die Schwierigkeiten beim Vermessen auf die unregelmäßige geometrische Form des Hufes und seiner vielen gerundeten Konturen zurück.

Ausgehend von digitalen Aufnahmen, die durch eine Videokamera erstellt wurden ermitteln KANE et al. (1998) die Daten computergestützt.

TURNER und STORK (1988) messen Kronrandumfang, Dorsalwandwinkel, Zehenlänge, laterale und mediale Trachtenlänge, Strahllänge, Strahlweite an seiner Basis und die Trachtenhöhe senkrecht vom Kronrand zum Boden, um Aussagen über Unterschiede zwischen Hufen desselben Tieres sowie Unterschiede zwischen der lateralen und medialen Hufseite, wie auch über untergeschobene oder verengte Trachten treffen zu können.

GLADE und SALZMAN (1985); KANE et al. (1998) messen die Strahllänge von der Strahlspitze entlang des zentralen Sulcus bis zu seinem palmaren bzw. plantaren Ende, und sie bestimmen die Strahlweite an der weitesten Stelle seiner Basis.

ARABIAN et al. (2001) messen die Sohlenweite (SW) an der weitesten Stelle des Hufes, die Sohlenlänge (SL) von der Zehenspitze bis zum Eckstrebenwinkel parallel zur Longitudinalachse des Hufes, die Zehenlänge (TL) vom Kron- bis zum Tragrand. Die Zehenwandhöhe wird als Lot von der Krone bis zum distalen Ende der Hufwand, die Seitenwandlänge (LL) auf einem Viertel des Kronrandumfangs vom Kronrand aus zum Tragrand, parallel zum Verlauf der Hornröhrchen, gemessen. Von der gleichen Stelle des Kronrandes aus wird das Lot als Seitenwandhöhe (LH) gefällt, die Trachtenlänge (HL) definiert sich durch den Verlauf der Hornröhrchen vom Kronrand bis zum Tragrand, während die Trachtenhöhe (HH) wiederum die Senkrechte vom Kronrand zum Boden darstellt. Der Kronrandumfang wird an der Krone gemessen, der Tragrandumfang am distalen Ende der Hufwand.

KANE et al. (1998) messen Zehenlänge, Sohlenweite, Tragrandumfang, Dorsalwandwinkel und Trachtenwinkel auf die gleiche Weise wie ARABIAN et al. (2001), während die Seitenwandlänge an drei verschiedenen Punkten vom Kronrand aus gemessen wird. Des Weiteren wird die Distanz zwischen Zehe und der weitesten Stelle des Hufes und die Entfernungen zwischen Strahlspitze und Hufwand bestimmt (KANE et al., 1998).

Darüber hinaus führen ARABIAN et al. (2001) die vereinfachte Berechnung des Hufvolumens ein, indem sie dem Huf eine zylindrische Form zu Grunde legen: $\text{Kronrandumfang}^2 \times \text{Seitenwandhöhe}$.

RICHTER (1922) bestimmt die Relation zwischen Länge der Mittellinie des Hufes an der Sohlenfläche zu der Länge der Mittellinie des Strahles und erhält als Ergebnis für Vorder- und Hinterhufe gleichermaßen den Quotienten $3/2$.

Zubereitung des Hufes

Untersuchungen über das Hornwachstum an Pferdehufen bei unterschiedlicher Zubereitung des Hufes ergaben keine Abhängigkeit der Strahllänge von der Zubereitung. Die Weite des Strahles nahm bei Hufen, die auf eine lange Zehe hin zugeschnitten wurden ebenso wie die Strahlfläche mit der Dauer dieser Zubereitungsform ab (GLADE und SALZMAN, 1985).

Vorderhufe die in einer Versuchsreihe auf eine kurze Zehe mit hohen Trachten hin gerichtet wurden wiesen eine geringere Hornwachstumsrate auf als Hufe der Vergleichsgruppe mit langer Zehe und niedrigen Trachten (GLADE und SALZMAN, 1985).

Die Fläche der Hufunterseite nahm bei Hufen der Versuchsgruppe „lange Zehe, niedrige Trachten“ mit den Schmiedeperioden ab.

2.6. Das Strahl- und Ballenpolster

2.6.1. Aufbau des Strahl- und Ballenpolsters

Das Strahl- und Ballenpolster bilden das Hufkissen, das aus 4 Seitenflächen, einer Apex und Basis besteht. Die dorsal gerichtete Spitze des Hufkissens ist mit der tiefen Beugesehne verschmolzen, die proximale Fläche mit der entsprechenden Sehnenscheide. Zwischen den Seitenflächen des Hufkissens und den Hufknorpeln liegen starke Venengeflechte, wohingegen proximal der Gefäße eine direkte Verbindung zwischen Polster und Hufknorpel besteht (RIEGEL, 1999).

Das keilförmige Strahlpolster setzt sich zwischen der Hornsohle und dem Hufskelett aus dem Ballenpolster fort und teilt sich analog zum Hornstrahl (Cuneus corneus) in 2 Schenkel (NICKEL et al., 1996).

Während es distal von der Strahllederhaut überzogen ist, grenzt auf der proximalen Fläche die Fesselsohlenbinde an (NICKEL et al., 1996). Die Ballenlederhaut ist nur dünn ausgebildet (BRAGULLA und MÜLLING, 1992).

Das Strahlpolster ist mit den seitlich von diesem gelegenen Hufknorpeln fest verwachsen (ERLE, 1913; NICKEL et al., 1992; RICHTER, 1922; RUOHONIEMI et al., 1997 b; VERSCHOOTEN et al., 1996).

BOWKER et al. (1998) beschreiben den Verlauf elastischer und kollagener Fasern aus den L-förmigen Hufknorpeln im Bereich der Eckstreben. Die Fasern strahlen jederseits von der Basis der Hufknorpel zur Hufmedianen in das Hufpolster und treffen dort aufeinander. Weiter dorsal entlang der Linea semilunaris der Phalanx distalis fusionieren Fasern der Hufknorpel mit der tiefen Beugesehne (BOWKER et al., 1998; KAINER, 1989).

FIEBIGER und TRAUTMANN beschreiben bereits 1949 den Aufbau des Strahl- und Ballenpolster aus elastischen und fibrösen Faserzügen in die Fettgewebe eingelagert ist, das im Ballenbereich als elastisches Füllkissen besonders stark ausgeprägt ist (FIEBIGER und TRAUTMANN, 1949; GETTY, 1975). Zur Strahlpolsterspitze nimmt der Gehalt elastischer Fasern ab und das Polster wird derber und fester (FIEBIGER und TRAUTMANN, 1949; POLLIT, 1992; LUNGWITZ und HEMMANN, 1910).

Nach LUNGWITZ und HEMMANN (1910) sind die sehnenartigen Bindegewebszüge, die das Polster durchziehen, bei allen Hufen trotz kleiner Abweichungen mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit angeordnet. Sie ziehen im Bereich des Strahles etagenartig übereinander in Längsrichtung, wobei die Stränge untereinander verbunden sind und zwischen ihnen das elastische, gelbliche Gewebe liegt. Im Bereich der Ballen nimmt die Zahl der Stränge ab. Auch ist die Richtung ihres Verlaufes nun vom Hahnenkamm und den Eckstreben nach proximal gerichtet, so dass die Hälften des Ballenpolsters teils umschlossen werden.

RUOHONIEMI et al. (1997 b) finden einen geringen Anteil an fibrocartilaginösem Gewebe in den Strahlpolstern. BOWKER et al. (1998) stellen in den Strahlpolstern der Vordergliedmaßen einen höheren Anteil an fibrösen und knorpeligen Gewebe fest als in den entsprechenden Hinterhufen. Ist das fibrocartilaginöse Gewebe besonders stark vertreten, so befinden sich Fettgewebe und elastische Fasern nur noch im proximalen Abschnitt des Strahlpolsters zwischen den palpierbaren Abschnitten der Hufknorpel.

Sind die Hufknorpel dünn, so besteht das Hufpolster überwiegend aus Fett und elastischem Gewebe, wohingegen bei starken Hufknorpeln das Strahl- und Ballenpolster vermehrt fibröses und fibrocartilaginöses Gewebe aufweist (BOWKER et al., 1998).

BOWKER et al. (1998) vermuten, dass das Strahlpolster hinsichtlich seiner geweblichen Zusammensetzung von externen Faktoren wie Körpergewicht, Alter und den Kräften, die beim Fuß auf verschiedenen Böden auf den Huf einwirken, beeinflusst werden kann. In einer nicht veröffentlichten Studie zeigte die Untersuchung an Hufen von Pferden aus dem mittleren Westen Amerikas und aus den Rocky Mountains, dass im Aufbau des Strahlpolsters der Pferde aus den Rocky Mountains verstärkt fibrocartilaginöses Gewebe beteiligt ist.

Während in Hufen von Arabern, Morgan Horses und Tennessee Walker ein Überwiegen von fibroelastischen oder fibrocartilaginösem Gewebe mit elastischen Fasern gegenüber Fett- und elastischem Gewebe auffiel, zeigten die untersuchten Strahlpolster der Rassen Thoroughbred, Quarter Horse, Standardbred sowie deren Kreuzungen keinen rassespezifischen Aufbau. Hier fanden sich auch Strahlpolsterzusammensetzungen ausschließlich aus elastischen Fasern und Fettgewebe (BOWKER et al., 1998).

Des Weiteren zeigen die histologischen Untersuchungen die Gefäßarmut des Strahlpolsters in das merokrine Drüsen eingelagert sind (NICKEL et al., 1996)

Diese Drüsen befinden sich überwiegend in der Subkutis. BOLLIGER und GEYER (1992) beschreiben mit kubischem Epithel ausgekleidete Drüsenendstücke, die Schweißdrüsen ähneln. Nach SMOLLICH und MICHEL (1992) handelt es sich um merokrine tubuläre Drüsen und modifizierte Schweißdrüsen. Nach ZIETSCHMANN (1943) und KOCH (1980) sind Schweißdrüsen im Ballen des Pferdes nur vereinzelt vorhanden oder fehlen ganz.

2.6.2. Pathologische Veränderungen des Strahl- und Ballenpolsters

In früherer Literatur wird die Atrophie des Polsters erwähnt, die von einigen Autoren als Ursache des Zwanghufes angesehen wird (KNEZEVIC, 1962; SCHWENDIMANN, 1930).

SCHWENDIMANN (1930) beschreibt die bei Trachtenverengung auftretenden Veränderungen in einem Magerwerden der Ballen bei einer tiefen und engen Ballenspalte. Die Elastizität der Ballen nimmt ab (SCHWENDIMANN, 1930).

MOYER (1979) nennt als Veränderungen des Hufkissens die Atrophie, das vollständige Fehlen, Penetrationswunden und Infektionen, Ausdehnung infolge Hufkrebs und Huffäule.

Ursache für die Phlegmone des Strahlpolsters sind nach SCHWENDIMANN (1930) und GUTENÄCKER (1901) Ballentritte, Nageltritte, Ausschneiden von Steingallen sowie die

Ausweitung bestehender Entzündungen des angrenzenden Gewebes (Hufknorpelfistel, Kronenphlegmone, eitrige Hornspalte). Adspektorisch ist eine Schwellung der Ballen mit Verstreichen der Ballengrube wahrnehmbar (GUTENÄCKER, 1901; SCHWENDIMANN, 1930). Eine Pulsation der Zehenarterie und vermehrte Wärme treten auf. Es kann zur chronischen Entzündung des Strahlpolsters mit bindegewebiger Verdickung des Polsters und Verformung des Hufes (hohe Trachte, verbreiteter hinterer Hufbereich, vorgewölbte Sohle, eingezogene Zehenwand) oder zur Fistelung des Abzeßes kommen (SCHWENDIMANN 1930). Ein Übergreifen der Entzündung auf die Tiefe Beugesehne, die Bursa podotrochlearis und das Strahlbein ist möglich (GUTENÄCKER, 1901).

2.6.3. Funktion des Strahl- und Ballenpolsters

Die Bedeutung des Hufpolsters scheint in der Stoßdämpfung zu liegen, so dass die auf die Gliedmaße einwirkenden Kräfte gemindert werden (BOWKER et al., 1998; DYHRE-POULSEN et al., 1994; LAMBERT, 1971; LANOVAZ et al., 1998; LUNGWITZ und HEMMANN, 1910; NOERNER, 1886; RICHTER, 1922).

MARTENS (1953) sieht die Aufgabe der elastischen Organe im Huf (Strahlpolster, Hufknorpel) darin die Überfederung der Hufwand beim Abschwingen abzufangen. Da er bei Rehehufen mit gesunden weichem Horn und hypertrophierten Strahlkissen keine Überfederung wie bei gesunden Hufen feststellt, beschreibt er die Funktion des Strahlpolsters mit dem Auffangen des Stoßes und Verhindern der Hornwandrückfederung.

BOWKER et al. (1998) stellen die These auf, dass ein festeres Strahlpolster durch einen höheren Gehalt an fibrösen und fibrocartilaginösen Fasern dem Huf im Stand mehr Unterstützung bietet und darüber hinaus auf weichem Boden den Blutfluß aus den paracunealen Arterien in den Hufknorpel fördert.

Die dem Strahlpolster früher zugesprochene Bedeutung beim Hufmechanismus konnte durch verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre nicht aufrechterhalten werden. Die Strahlpolstererweiterungstheorie wird deutlich durch DYHRE-POULSEN et al. (1994) widerlegt. Sie messen während der Belastung des Hufes einen negativen Druck im Strahlpolster. BOWKER et al. (1998) vermuten, dass dieser negative Druck durch die Fasern zwischen Hufknorpel und Polster vermittelt wird, da bei einer Auswärtsbewegung der

Hufknorpel unter der Belastung die Faserzüge der Hufknorpel in der Medianen des Polsters nach proximal gedrückt werden. Die Druckabnahme im Hufpolster trägt zur Füllung venovenöser Anastomosen im Huf bei, die nach BOWKER et al. (1998) einen wichtigen Beitrag zur Energieverteilung beim Fuß liefern.

2.6.4. Größe des Strahl- und Ballenpolsters

Über die Größe des Strahl- und Ballenpolsters finden sich keine Angaben in der Literatur. MARTENS (1953) spricht zwar von einem hypertrophierten Polster bei Rehehufen, definiert aber diese Hypertrophie nicht weiter. Bei LUNGWITZ und HEMMANN (1910) lässt sich die Aussage finden, dass das Strahlpolster keineswegs nur den Raum im Hornstrahl einnimmt sondern bereits ab Beginn des Strahlkörpers über diesen hinausragt. Die größte Breite wird erst zwischen den Hufknorpeln erreicht und ist von der Weite des Hufes abhängig (LUNGWITZ und HEMMANN, 1910).

2.6.5. Darstellung des Strahl- und Ballenpolsters

Röntgenaufnahmen liefern eine schlechte Wiedergabe von Weichteilgeweben, da diese Gewebe sich hinsichtlich ihrer Elektronendichte zu wenig unterscheiden, um sich kontrastreich darzustellen (PARK et al., 1987).

BUSONI und DENOIX (2001) gelingt eine ultrasonographische Darstellung des Strahlkissens, indem sie einen 7,5 Mhz Sector Schallkopf bei einem transcunealen Zugang verwenden. Der Huf wurde zuvor eingeweicht und stark ausgeschnitten um die Untersuchung gewährleisten zu können. Das Strahl- und Ballenpolster weist ein homogenes Bild mittlerer Echogenität auf. Ist der Ultraschall senkrecht zu den Fasern der tiefen Beugesehne orientiert, so ist die Schnittstelle der Sehne mit dem Hufpolster erkennbar. Dorsal des Polsters stellt sich der fibröse Teil der tiefen Beugesehne deutlich echogener als das Strahl- und Ballenpolster dar.

PARK et al. (1987) sehen die Nachteile der Ultrasonographie in der Limitierung des sichtbaren Bereichs durch die Fenstergröße, die zudem eine anatomische Orientierung erschwert, sowie durch den Knochen und die Hufkapsel.

Mittels der Computer Tomographie (CT) gelingt ebenfalls eine Visualisierung des Polsters am intakten Huf. Die Abgrenzung vom umliegenden Bindegewebe, den Bändern und Sehnen fällt allerdings schwer, da die Gewebe eine ähnliche Röntgendichte besitzen.

Das Ballenkissen besitzt eine granuliert Struktur und ist distal in Querrichtung leicht gestreift. Seitlich des Polsters sind die Hufknorpel zu erkennen (KLEITER, 1996).

Die beste Auflösung liefert die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT). Durch Einstellung geeigneter Sequenzen ist die Abgrenzung des Polsters möglich.

MEHL et al. (1998) beschreiben eine klare Darstellung des Hufpolsters mittels MRT.

PARK et al. (1987) benutzen in ihrer Studie einen Tomographen mit 0,15 Tesla, 6,255 MHz Resonanz Frequenz, TR (Repetition Time): 500 ms und TE (Echo Time): 30 ms und beschreiben die Wiedergabe des Hufpolsters als konstant graues granuläres Bild.

KLEITER et al. (1999) führen Untersuchungen mit einem 1,5 Tesla starken Magneten durch und finden das Hufpolster in T1- und PD (Proton Density) – gewichteten Aufnahmen von hellgrauer bis mittelgrauer Wiedergabe (T1: spin echo, TE 33 ms, TR 520 – 735 ms), (PD: spin echo, TE 33ms, TR 1200 – 2150 ms).

In der midsagittalen T1- gewichteten Ansicht eines Hufes aus der Studie von KLEITER et al. (1999) grenzt sich das streifige Strahlpolster nach distal von der Strahlmatrix, nach proximal von der tiefen Beugesehne ab. Das Ballenkissen zeigt eine granuliert bis streifige Struktur und die mediale und laterale Seite sind durch vertikal gerichtetes Bindegewebe voneinander getrennt (KLEITER, 1996). Auf Höhe des Strahlbeins sieht man Fasern des Hufknorpel-Hufkissenbandes in das Strahlkissen einstrahlen (KLEITER, 1996).

KLEITER et al. (1999) geben zur Visualisierung des Strahl- und Ballenpolsters der sagittalen und transversalen Scanführung den Vorzug gegenüber der dorsalen Ansicht.

2.7. MRT-Anwendung am Huf des Pferdes

Die Literaturwiedergabe bezieht sich in Hinblick auf das Thema der Dissertation überwiegend auf die beschreibende Darstellung von Weichteilgeweben.

PARK et al. (1987) finden in ihrer Studie (0,15 Tesla Tomograph, Spinechopulssequenzen) folgende bildliche Darstellung: Knochenmark, fettreiches Bindegewebe, Hufkoriumanteile, Verbindungsschicht und Synovia liefern weiße Bildareale; Knochenkompakta, Sehnen und Bandstrukturen Schwarze.

Bei der sagittalen schichtweisen Scanführung beschreibt KLEITER (1996) von abaxial beginnend die Darstellung des Hufes durch MRI; zuerst sichtbar wird die Wandmatrix, der Kronwulst mit Übergang in das Ballensegment, dem axial gefäßreiches Bindegewebe und der Hufknorpel folgen. Das Hufbein ist durch die es überziehende Lederhaut anfangs nicht selbst sichtbar. Nach axial schließen sich die Skeletteile des Hufes, die Gelenke, Sehnen, Bänder und das Hufpolster an. Das Fesselbein-Hufknorpel-Hufbeinband zieht von distal der Kronbeinlehne kommend durch das Ballenpolster zum Hufbein. Das Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband trennt den dorsal liegenden Recessus palmaris proximalis des Hufgelenkes von der palmar liegenden proximalen Endbucht der Bursa podotrochlearis. Die Bursa podotrochlearis stellt sich als dünne Linie mit Abschnitten von Synoviaeinlagerungen dar. Ebenfalls gut erkennbar sind die Synoviaeintritte in das Strahlbein. An der Dorsalfläche des Hufbeins ist am Streckfortsatz als schwarzer Streifen die Gemeinsame Strecksehne sichtbar. Die Tiefe Beugesehne grenzt optisch das Hufkissen von der Bursa podotrochlearis und der Fesselbeugesehnscheide ab. Zwischen Strahl- und Hufbein zieht das Ligamentum impar (schwarz) zwischen der Bursa podotrochlearis und dem Recessus palmaris distalis (weiß).

In der coronalen Ansicht des Hufes liegt das Ballenpolster zwischen den signalintensiven Hufknorpeln, an deren Innenseite zahlreiche Gefäße (weiß) und das Fesselbein-Hufknorpel-Hufbeinband (schwarz) liegen (KLEITER, 1996).

KANEPS et al. (1995) beschreiben in ihrer MRT-Studie (T1-gewichtet; TR 2400 ms, TE 2,8 ms, Gradientenecho) Charakteristika der Insertion der tiefen Beugesehne. Es wurden Bilder aus der dorsalen (Schichtdicke: 1,5 mm, Schichtabstand: 2,5 mm) und der transversalen Ansicht (Schichtdicke: 2 mm, Schichtabstand: 3 mm) erstellt. Sehnenfaszikel und Septen konnten in einigen Bildern gesehen werden. Die tiefe Beugesehne stellte sich als ein

longitudinal gestreiftes Weichteilgewebe dar, wobei die Streifung mit Sehnenfaszikeln und – septen in der transversalen Ansicht korrespondierte.

Die TBS zeigt im transversalen Schnittbild insbesondere in ihrem mittlerem Insertionsbereich eine Grauschattierung, die sich nach distal verstärkt und die Abgrenzung vom Ligamentum impar ausschließt (KLEITER, 1996).

In den von KLEITER (1996) T1- und PD-gewichteten Transversalaufnahmen sind die Fesselbein-Hufknorpel-Hufbeinbänder seitlich der TBS und proximal des Ballenpolsters als intensitätsschwache (schwarze) Stränge zu erkennen.

Im Gegensatz zum lebenden Tier geben Blutgefäße in den Präparaten eine hohe Signalintensität (weiße Darstellung), da sie mit geronnenem Blut gefüllt sind. Von Blut durchflossene Gefäße besitzen ein niedriges Signal (KLEITER et al., 1999). Ebenso liefert Synovia in T1-gewichteten Darstellungen am lebenden Tier nur ein schwaches Signal (dunkel).

Bei einem an Strahlfäule erkranktem Huf ist das veränderte Horn aufgrund seines erhöhten Wassergehaltes als hellgrauer Bezirk sichtbar (KLEITER, 1996).

Faserknorpel­einlagerungen im Ansatz der TBS als pathologische Veränderungen zeigen sich durch eine Zunahme der Signalintensität (KLEITER, 1996).