

1 Schrifttum

1.1 Allgemeine Grundlagen zur Thermographie

Der Begriff Thermographie bezeichnet Methoden zur bildlichen Darstellung der Oberflächentemperatur eines Körpers. Es ist eine nicht invasive Methode, die emittierte Wärme von Körpern misst.

Grundsätzlich wird zwischen Kontaktthermographie und Infrarotthermographie unterschieden.

Zur Kontaktthermographie werden flüssige Cholesterinkristalle verwendet. Sie reflektieren polarisiertes Licht in einem engen Spektralbereich. Durch die Erwärmung verändert sich die Konfiguration der Kristalle und damit die Wellenlänge des reflektierten Lichts. Die Filme bestehen im Wesentlichen aus einer flexiblen Latexgrundlage, in welche die Flüssigkristalle eingelagert sind. Sie werden der zu untersuchenden Region direkt aufgelegt. In Abhängigkeit von der Temperatur verfärbt sich der Film. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Wellenlänge der emittierten Strahlung des Films ab.

Mit diesem Verfahren kann eine räumliche Auflösung von 1 mm und eine Temperaturlösung von $0,1^{\circ}\text{C}$ erreicht werden. Die Filme reagieren auf Hauttemperaturen zwischen 28°C und 34°C (Turner et al., 1986).

Es ist möglich, das Wärmebild zur Dokumentation und Archivierung mit einer Polaroidkamera aufzunehmen (Togawa, 1985).

Im Folgenden soll nur von der Infrarotthermographie gesprochen werden.

1.1.1 Physikalische Grundlagen

Bei der Infrarotthermographie erfolgt die Messung berührungslos, indem spezielle Infrarotkameras die von der Oberfläche des Objektes ausgehende Wärmestrahlung messen. Die kontinuierlich arbeitenden Thermographen gestatten es ferner, Veränderungen von Oberflächentemperaturverteilungen fortlaufend zu beobachten (*Stephan u. Görlach, 1971*).

Jeder Körper, ob physikalisch oder biologisch, strahlt infrarote Energie aus, sofern seine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt ($-273,16^{\circ}\text{C}$ bzw. 0°K) liegt (*Harten et al., 1987*).

Die Hauttemperatur ist aufgrund von Wärmestrahlung, Konvektion und Verdunstung generell 5°C niedriger als die Körperinnentemperatur (*Turner, 2001*).

Das Fell bildet einen zusätzlichen, thermalen Widerstand zwischen der Hautoberfläche und einer sichtbar werdenden Strahlungsoberfläche (*Clark u. Cena, 1972*).

Die mit der Wärmestrahlung ausgestrahlte Energie kann optisch gesammelt, in elektrische Impulse umgewandelt und auf einem Bildschirm dargestellt werden (*Strömberg, 1972; Purohit, 1980*).

1.2 Anwendungsgebiete in der Pferdemedizin

Thermographie in der Pferdemedizin wurde erstmals 1965 von *Delahanty und Georgi* beschrieben. Sie verwendeten noch einen Thermographen, der 6 Minuten benötigte, um ein Bild zu scannen, welches in verschiedenen Grautönen abgestuft wurde. Die thermographisch untersuchten Fälle deuteten durch lokale Temperaturerhöhungen auf verschiedene Erkrankungen hin.

Eine Schwellung, die durch eine 60 Stunden zuvor an dieser Stelle gesetzte Injektion entstand, stellte sich auf dem Röntgenbild als tiefer Abszeß mit einer Gastsche dar. Die Thermogramme dieser Region zeigten einen Bereich erhöhter Hauttemperatur, der einen „cold spot“, entsprechend der Gastsche, enthielt (*Delahanty u. Georgi, 1965*).

Thermographische Untersuchungen sollten in geschlossenen Räumen vorgenommen werden, um Zugluft zu vermeiden, die zur Abkühlung durch Konvektion führt. Ebenso dürfen weder direkte Sonneneinstrahlung noch andere Wärmequellen dem Patienten eine Wärmeabsorption ermöglichen. Die Raumtemperatur darf nicht zu hoch gewählt werden, da Schweißsekretion zu Abkühlung der Oberfläche durch Verdunstung führt (*Wieland, 1992*).

Das Pferd muss trocken und sauber sein, da Feuchtigkeit die Infrarotstrahlung absorbiert und so falsche Ergebnisse liefert. Auch eine Farbmusterung des Fells sowie eine ungleichmäßige Felllänge können die Ursache für Artefakte sein (*Colles u. Pusey, 2003*).

Das Abspritzen der Pferdebeine vor der Untersuchung führt zu keiner Verfälschung der Ergebnisse, vorausgesetzt, das Beinpaar wird gleichmäßig abgespritzt. Schon wenige Minuten danach treten die Zonen vermehrter Wärme wieder deutlich hervor (*Pick, 1987*).

Das normale Verteilungsmuster der Oberflächentemperatur einer bestimmten anatomischen Region kann aufgrund seiner Gefäßverteilung und seiner Oberflächenkontur vorhergesagt werden (*Turner, 1991*).

So kann Hyperthermie auch Ausdruck einer in physiologischen Grenzen liegenden gesteigerten lokalen Stoffwechselaktivität sein, und muss nicht krankhaft sein (*Hertsch et al., 1990*).

Weil (1997) fand keinen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) der Oberflächentemperatur zwischen rechter und linker Gliedmaße eines Pferdes.

Webbon (1978) stellte fest, dass in über 90% der untersuchten Pferde seiner Kontrollgruppe die Temperaturdifferenz zwischen rechter und linker Gliedmaße unter 1°C liegt.

In einer Studie von *Ghafir et al. (1996)* konnten keine signifikanten Temperaturunterschiede zwischen thermographischen Aufnahmen aus 0,5 m und 3,5 m Entfernung festgestellt werden.

Holmes et al. (2003) stellten fest, dass die perineurale Leitungsanästhesie (MPA) mit Mepivacainhydrochlorid keine Auswirkungen auf nachfolgende infrarotthermographische Messungen hat. Weder die axiale noch die abaxiale Nervenblockade veränderten die durchschnittliche Oberflächentemperatur an der lateralen und medialen distalen Gliedmasse der Pferde signifikant.

1.2.1 Anwendung in der Orthopädie

Die Thermographie kann an jedem Abschnitt des Körpers angewandt werden, ihre größte Bedeutung hat sie aber wahrscheinlich als Hilfsmittel in der Lahmheitsdiagnostik (*Stashak, 1989*).

Mit Hilfe der Infrarotthermographie ist es möglich, bei Lahmheiten die erkrankte Gliedmaße leichter zu identifizieren. Sie gibt aber keine Auskunft über die Ursache der Lahmheit (*Hopes, 1986*).

Jaugstetter et al. (2000) stellten vor und nach periarterieller Sympathektomie und Fasziolyse bei Podotrochlose- bzw. Sesamoidose - Patienten Thermogramme aller vier Gliedmaßen vom Fesselkopf bis einschließlich des Hufes her. Sechs Wochen nach dem Eingriff fanden sie bei 53 %, nach vier Monaten bei 48 % der Probanden einen Temperaturunterschied von mehr als 1°C gegenüber den nicht operierten Gliedmaßen.

1.2.1.1 Sehnenerkrankungen

Besonders Erkrankungen der Sehnen (Tendinitis / Tendovaginitis) zeigen überwiegend positive Befunde bei der thermographischen Untersuchung (*Pick, 1984*).

Strömberg (1973) stellte eine direkte Korrelation zwischen der Stärke der Läsionen und der Höhe der Temperatur der Sehnen auf den Thermogrammen fest. Alle akuten Sehnenläsionen

zeigten einen „hot spot“ auf den Thermogrammen. Diese „hot spots“ hatten einen topographischen Bezug zu der Ausdehnung und der Lokalisation der Sehnenläsion..

Deshalb ist die Thermographie ein sehr nützliches Verfahren zur Erkennung von Weichteilerkrankungen, die bei der klinischen Untersuchung unentdeckt bleiben könnten (*Turner, 1996b*).

Die Thermographie zeigte bei Sehnenschäden oftmals Veränderungen an, bevor klinische Symptome auftraten (*Clark u. Cena, 1977*).

Auch *Marcella (1997)* ist der Meinung, dass die Thermographie eine stark strapazierte Sehne entdecken kann, bevor eine Verletzung auftritt. Der Körper erhöht den Blutfluss und die Zellen ihre Aktivität an den angegriffenen Bereich. Mit Hilfe der Thermogramme kann eine Erhöhung der Temperatur in den aktiven Bezirken gut sichtbar gemacht werden.

So können „hot spots“ über einer Sehne vorkommen, ein bis zwei Wochen bevor jegliche Anzeichen von Schmerz oder Schwellung an dieser Sehne bemerkt werden (*Strömberg, 1974*).

Ein hoch signifikanter Temperaturunterschied im Vergleich mit lahmheitsfreien Pferden wurde bei Pferden mit Tendopathie in der untersuchten Region festgestellt (*Weil, 1997*).

Marr (1992) konnte bei der Diagnostik von Erkrankungen der oberflächlichen Beugesehne mit Hilfe der Mikrowellenthermographie eine Sensibilität von 81% und eine Spezifität von 74% verzeichnen.

1.2.1.2 Gelenkserkrankungen

Eine durch intraartikuläre Injektion von 3µg des E. coli Endotoxins (Lipopolysaccharid) ausgelöste Karpitis wurde thermographisch untersucht. Es zeigte sich gegenüber dem Kontrollgelenk eine signifikante Temperaturerhöhung über 144 Stunden (*Hawkins et al., 1993*).

Eine Inokulation von *Staphylococcus aureus* ($3,4$ bis $3,9 \times 10^3$ koloniebildende Einheiten) in das Tarlocruralgelenk zeigte während der thermographischen Untersuchung über 13 Tage einen signifikanten Anstieg der Oberflächentemperatur des Gelenkes von $\leq 28,2^\circ\text{C}$ auf $32,2^\circ\text{C}$ (*Bertone et al., 1992*).

Diese Studien zeigen, daß insbesondere Gelenksentzündungen das Kardinalsymptom Wärme direkt unter der Hautoberfläche tragen und somit thermographisch gut darstellbar sind.

Es kann aber zur Zeit noch keine Aussage bezüglich einer spezifischen Korrelation zwischen vermehrter Wärme des Gelenkes und Art der Gelenkserkrankung gemacht werden. Denn sowohl die Beschaffenheit der Synovia und des Gelenkknorpels, als auch die An- bzw. Abwesenheit von Knorpelfragmenten beeinflussen die Oberflächentemperatur des Gelenkes (*Turner, 1991*).

So zeigte eine Studie, daß die schlechte Rennleistung von 25% der untersuchten Pferde mit thermographischen Veränderungen an den Tarsi einherging. Klinisch zeigte sich nur in einem Fall eine Lahmheit, die Leistungsschwäche der übrigen Probanden ließ jedoch eine Erkrankung vermuten. Diese frühen subklinischen Veränderungen des Sprunggelenkes in Form einer Osteoarthritis konnten eher thermographisch als durch eine röntgenologische Untersuchung festgestellt werden (*Vaden et al., 1980*).

In diesen Fällen kann die Thermographie unterstützend zum Training hinzugezogen werden und ernsthaftere Erkrankungen vermeiden helfen. Bei der Lokalisation von thermographischen Veränderungen, die noch kein klinisches Bild hervorgerufen haben, kann der Trainingsplan entsprechend verändert werden, um eine Manifestation der Erkrankung nicht zu provozieren (*Turner, 1991*).

Um den Krankheitsverlauf einer durch 10 mg Amphotericin B i.a. induzierten Arthritis und den Therapieerfolg mittels 100 mg Methylprednisolon i.a. zu dokumentieren, wurden thermographische Aufnahmen der entsprechenden Gelenke vor und nach den intraartikulären Injektionen angefertigt. Die Thermogramme der betreffenden Karpal- und Tarsalgelenke

zeigten 24 Stunden nach der induzierten Arthritis einen deutlichen Temperaturanstieg. Auch nach dem Abklingen der klinischen Symptome konnte thermographisch noch eine Entzündungsreaktion nachgewiesen werden. Es dauerte bis zu 34 Tagen, bis die Thermogramme wieder den normalen Temperaturmuster der betroffenen Gelenke entsprachen (*Bowman et al., 1983*).

Diese Untersuchung zeigte, dass durch thermographische Verlaufsuntersuchungen eine Heilung über das Abklingen der klinischen Symptome hinaus dokumentiert und so eine angemessene Rehabilitationsphase festgelegt werden konnte.

Hingegen sind die Ergebnisse thermographischer Untersuchungen bei chronischen oder älteren Verletzungen oft negativ (*Denoix, 1994*).

1.2.1.3 Knochenerkrankungen

Die Erkrankungen von Knochen sind nur in den Fällen thermographisch auffällig, in denen der betroffene Knochen relativ engen Kontakt zur Haut hat. Deshalb ist die Thermographie besonders dorsal am Os metacarpale tertium sinnvoll. Periostale Reaktionen lassen sich in „hot spots“ erkennen. Die unterschiedlichen Grade der Erkrankung zeigen veränderte Thermogramme, wobei der Grad 3 eine Temperaturerhöhung von 2° bis 3°C gegenüber dem umliegenden Gewebe zur Folge hat (*Turner, 1991*).

1.2.1.4 Rückenerkrankungen

Die Anwendung der Thermographie bei Rückenproblemen findet zunehmend Anerkennung.

Wichtig ist hierbei die dorsale Ansicht des Rückens, auf der die Mittellinie als warmer Streifen zu sehen ist. Die Muskeln beiderseits der Mittellinie stellen sich symmetrisch und zwischen 0,5 ° bis 1°C kälter dar.

Jede Unterbrechung dieses dorsalen Streifens oder signifikante Kälte auf jeglicher Seite des Streifens, zeigen eine Veränderung der sympathischen Innervation dieser Region an (*Colles et al., 1994*).

Es werden Thermogramme von Pferderücken beschrieben, die vermehrte Wärme in der hinteren Thoraxregion zu erkennen gaben. Die anschließende ultrasonographische Untersuchung dieser Region ergab in den Procc. spinosi von T3 – T8 eine Ablösung der zwischenliegenden Bänder (*Kold u. Chappell, 1998*).

Dennoch sollten sie nur zusammen mit anderen diagnostischen Methoden zu einer Diagnose führen. Ein erhöhter Temperaturbereich über den Procc. spinosi an T11 – T12 und T16 stellte sich röntgenologisch als Osteoarthrose an den Gelenken von T10 – T12 und T15 – T16 dar. „Cold spots“ können Hinweise auf die Schädigung von Nerven bei ihrem Austritt aus der Wirbelsäule und damit auf Veränderungen der Wirbelgelenke geben (*Schweinitz et al., 1999*).

Die Erhöhung der Hauttemperatur seitlich der Wirbelsäule kann durch Reizungen der sympathischen Nerven bedingt sein (*Turner, 1991*).

Waldsmith u. Oltmann (1994) nutzten die Thermographie unter anderem zur Untersuchung der Sattellage. Wenn der Sattel der Sattellage des Pferderückens nicht optimal angepasst ist, zeigt sich in Bereichen, in denen der Sattel übermäßigen Druck auf den Rücken ausübt, ein „hot spot“.

1.2.1.5 Bändererkrankungen

Da Thermographiegeräte meist handlich und gut zu transportieren sind, finden sie auch in der Betreuung von Pferdesportveranstaltungen Anwendung.

Nach einem Sturz im Parcours zeigte ein Pferd hochgradige Lahmheitserscheinungen. Da die klinische Untersuchung kein Ergebnis brachte, erfolgte zehn Minuten später eine thermographische Untersuchung, die eine Wärmevermehrung am medialen geraden Kniescheibenband ergab, so dass die anschließend vorgenommene direkte lokale Behandlung das Schmerzphänomen rasch linderte (*Cronau et al., 1990*).

Eine Bewegungsasymmetrie, die zur Rotation der unteren Gliedmaßengelenke führte, konnte beim Training von Trabern auf einer Rennbahn mit ungenügend geneigten Kurven auf Filmaufnahmen dargestellt werden. Die thermographische Untersuchung bestätigte dies: Die inneren Fesseln waren wärmer als die Äußeren, was auf eine stärkere Beanspruchung zurückgeführt werden kann (*Fredericson et al., 1975*).

Die Subluxation des Kreuzdarmbeingelenkes zeigt durch einen fokalen „cold spot“ zwischen den beiden Tuber sacrale ein deutliches thermographisches Bild. Bei der sonographischen Untersuchung wurde an den Kreuzdarmbeinbändern eine deutliche Veränderung bemerkt, die mit dem thermographischen Bild korreliert (*Turner, 2001*).

1.2.1.6 Muskelerkrankungen

Muskelerkrankungen können zwar durch Bestimmung der spezifischen Muskelenzyme diagnostiziert werden, aber die Lokalisation bleibt ungeklärt. Die Thermographie kann hier zwei wichtige Hinweise bezüglich der Beurteilung von Muskelerkrankungen geben: Eine Entzündung kann lokalisiert und einem Muskel oder einer Muskelgruppe zugeordnet werden, und eine Muskelatrophie kann vor der klinischen Apparenz dargestellt werden. Die Muskelentzündung zeigt sich als „hot spot“ in dem Hautbereich, der dem Muskel direkt aufliegt. Ein verletzter Muskel, dessen Durchblutung z.B. durch eine starke Schwellung oder Ödeme gestört ist, stellt sich als „cold spot“ thermographisch dar (*Turner, 1991; Turner et al., 1996*).

So ist die Thermographie auch bei der Lokalisation von Lahmheiten im oberen Bereich der Hinterhand eine Hilfe, die häufig auf Muskelzerrungen oder Muskelentzündungen zurückzuführen sind (*Turner, 1996a*).

Der Vergleich von thermographischen und szintigraphischen Befunden zeigt, dass der Thermographie zum Nachweis von chronischen Erkrankungen des knöchernen Skeletts beim Pferd eine zu geringe Aussagekraft zukommt, als dass der klinische Einsatz dieser Technik

für sinnvoll erachtet werden könnte. Die Anwendung sollte sich auf die Diagnostik bzw. Verlaufskontrolle von Weichteilläsionen und Durchblutungsstörungen beschränken (*Lauk u. Kimmich, 1997; Wieland, 1992*).

1.2.1.7 Gefäßerkrankungen

Bei der thermographischen Untersuchung einer bestehenden Thrombose der Art. iliaca externa zeigte sich im Stadium der Ruhe eine Hyperthermie. Erst nach provokativer Belastung kam es zur Hypothermie der erkrankten Gliedmaße (*Pick, 1990*).

1.2.2 Anwendung in der Dopingkontrolle

Um das „Gingering“ von Showpferden in Amerika nachzuweisen, bei denen eine irritierende Substanz um den Anus und auf die ventrale Schweifseite appliziert wird, wurden Thermogramme dieser Region angefertigt. Verglichen mit Pferden, denen 15% Methylsalicyl mit 10% Menthollösung bzw. Ingwer in Lösung auf die Perinealregion aufgetragen wurde, zeigten die Thermogramme messbare Veränderungen, wobei sich die Temperaturdifferenz zwischen dem Anus und den umliegenden Strukturen verringerte (*Turner u. Scoggins, 1985*).

Thermographie wird auch benutzt um „soring“, die Applikation eines irritierenden Agens auf das Kronbein aufzudecken, das den speziellen Gang der Tennessee walking horses provozieren soll (*Nelson u. Osheim, 1975*).

Purohit (1980) fertigte eine Studie über neurektomierte Pferde an. Post operationem zeigte sich das Versorgungsgebiet des neurektomierten Nerven zunächst wärmer. Innerhalb der nächsten drei bis sechs Wochen normalisierte sich die Durchblutung wieder. Auf die Injektion von Acetylpromazin (0,06 mg / kg i.v.) erfolgte, durch die Blockade der α - Rezeptoren, eine Erwärmung der gesunden Seite, jedoch keine Erwärmung im Versorgungsgebiet des neurektomierten Nervs (*Purohit, 1980*).

Da Isoxsuprin eine der häufigsten Drogen ist, die bei Dopingkontrollen der Rennpferde gefunden wurden, wurde die Auswirkung von Isoxsuprin auf klinische Parameter getestet. Hierbei wurden eine Woche lang zweimal täglich 2,0 mg / kg Isoxsuprine i.v. bzw. 600 mg/ Tier oral verabreicht. Thermographisch wurde die Oberflächentemperatur der Vorderbeine untersucht. Diese sank direkt nach intravenöser Isoxsupringabe, wobei die niedrigste Temperatur 60 Minuten nach der Injektion verzeichnet werden konnte. Nach oraler Gabe hingegen waren keine signifikanten Veränderungen der Thermogramme zu beobachten (*Harkins u. Tobin, 1996*).

Bei Dopinguntersuchungen wäre eine zusätzliche IR – Thermographie ein diagnostisches Hilfsmittel bei der Erkennung von durch Therapie „maskierten“ Gelenk- und Sehnenkrankungen (*Schnabl u. Zeller, 1982*).

1.2.3 Anwendung bei der neurologischen Untersuchung

Die Thermographie wurde auch in der Diagnose von neurologischen Erkrankungen beim Pferd eingesetzt. Bei der thermographischen Untersuchung des Pferdekopfes von lateral und frontal zeigt das Horner's Syndrom ein eindeutiges Bild. Die vom Horner's Syndrom betroffene Seite stellte sich sowohl in der lateralen als auch in der frontalen Aufnahme 2-3° C wärmer dar, als die nicht betroffene Seite des Kopfes des erkrankten Tieres (*Purohit et al., 1980*).

Dieses thermographische Muster des Horner's Syndrom ändert sich nach der Injektion von 0,05 mg / 100 kg einer 1%igen Romifindinlösung. Die betroffene Seite des Kopfes zeigt sich 30 Minuten nach der Injektion kälter als die andere Kopfseite. Die Oberflächentemperaturmuster von Köpfen gesunder Kontrollpferde hingegen zeigten auch nach der Injektion keine signifikanten Änderungen (*Ghafir et al., 1996a*).

Eine sympathische Deinnervation, die durch ein thorakales Melanom verursacht wurde, das Einfluß auf das Cervicothoracalganglion hatte, konnte mit Hilfe der Thermographie

diagnostiziert werden (*Murray et al., 1997*). In diesem Fall war die Läsion durch fokale Vasodilatation, Hyperämie und Schweißsekretion aufgrund des leichteren Ansprechens der β_2 - Rezeptoren auf Katecholamine gut lokalisierbar.

Die Thermographie stellt in solchen Fällen ein sensibles und dadurch hilfreiches Diagnostikum dar (*Hoogmoed et al., 2000*).

Die Anwendung der Thermographie bei einem neurologischen Fall kann in der Diagnose einer peripheren Denervierung oder des Verlustes der sympathischen Funktion helfen. Die periphere Denervierung zeigt sich als erniedrigte Muskel- und Hauttemperatur, wohingegen der Verlust der sympathischen Innervation sich als erhöhte Kopf- oder Halstemperatur darstellt (*Smith et al., 1987*).

1.2.4 Anwendung bei der dermatologischen Untersuchung

Die Möglichkeit der Infrarotthermographie zur Früherkennung oder Diagnostik des Sommerkezems („sweet itch“) wurde an 13 empfindlichen und sechs für diese Dermatitis unempfindlichen Pferden in Israel getestet. In den Sommermonaten zeigten sechs betroffene und zwei nicht betroffene aber empfindliche Stuten deutlich wärmere Thermogramme an den prädestinierten Stellen als drei unempfindliche und nicht betroffene Stuten. In den Wintermonaten Februar und März konnten für das Sommerkezem sensitive Pferde von den unempfindlichen Stuten differenziert werden, aufgrund der auf den Thermogrammen sich warm darstellenden Bereiche der betroffenen Zonen (*Braverman, 1989*).

Durch diese Untersuchung ist es möglich, sensible Pferde frühzeitig zu erkennen, und, da es sich um eine vererbte Disposition handelt, von der Zucht auszuschließen.

1.2.5 Anwendung bei Kieferhöhlenerkrankungen

Durch Thermographicaufnahmen des Schädels von dorsal kann die Wärmeverteilung im Bereich von Kiefer- oder Stirnhöhlen gut beurteilt werden: Akute Sinusitiden stellen sich in Form von warmen Zonen dar, chronische Erkrankungen hingegen sind schlechter zu erkennen (*Pick, 1990*).

So zeigte eine Schwellung über dem linken Sinus maxillaris einer Stute eine erhöhte Oberflächentemperatur im Vergleich zur bilateralen Seite. Mit Hilfe eines Bioplates wurde diese Schwellung als squamöses Carcinom diagnostiziert (*Delahanty u. Georgi, 1965*).

Mehr als in der Lahmheitsdiagnostik kann die Thermographie bei entzündlichen Erkrankungen der Nasennebenhöhlen zur Diagnosefindung beitragen, da die röntgenologische Untersuchung nur bei massiven pathologischen Veränderungen ein diagnostisches Hilfsmittel darstellt (*Pick, 1987*).

1.3 Temperaturmessung am Huf

Ruthe et al., (1997) bezeichnet das Hufhorn als sehr schlechten Wärmeleiter, so dass es selbst unter extremen Frostbedingungen zu keinerlei Erfrierungen der Lederhaut kommen dürfte.

Temperaturmessungen am Huf sind vornehmlich an der dorsalen Hufwand vorgenommen worden, wobei sowohl mit fest fixierten elektronischen Thermometern, direkt mit elektronischen Thermometern, mit Infrarotstrahlungsdetektor und Anzeigegerät (*Flores, 1978*) als auch mit Infrarotthermographiekameras (*Kold u. Chappell, 1998*) gearbeitet wurde.

1.3.1 Allgemein

Bei thermoelektrischer Temperaturmessung am Pferdehuf konnte an physiologischen Hornwandstärken keine Beeinflussung der Höhe der Temperatur festgestellt werden. Hingegen konnte bei pathologischen Veränderungen der Hornwandstärke eine Erhöhung bzw. eine Erniedrigung der Huftemperatur gemessen werden (*Albrecht, 1956*).

Thermographische Untersuchungen an der distalen Gliedmaße des Pferdes zeigten, dass ein hoher Grad an Symmetrie sowohl zwischen der rechten und der linken Gliedmaße, als auch zwischen den Vorder- und den Hinterbeinen besteht (*Weil et al., 1998*).

Dabei sind die Huftemperaturen von Pferd zu Pferd verschieden. Einige Pferde haben kältere, andere wärmere Hufe (*Verschooten et al., 1997*).

Die vergleichende Betrachtung zwischen der gesunden und der kranken Seite ist für die Beurteilung wichtig. Sind z.B. beide Hufe vermehrt warm, so muss es nicht krankhaft sein, vielmehr kann eine warme Aufstallung oder ein frischer Beschlag die Ursache für die Hyperthermie sein. Ist hingegen ein Huf deutlich wärmer, muss an einen pathologischen Prozess gedacht werden (*Pick, 1987*).

Doch immer stellt sich der Kronsaum als wärmster Bezirk an der distalen Gliedmaße des Pferdes dar. Er ist generell 1° bis 2°C wärmer als der Rest des Hufes (*Turner, 1991; Turner et al., 1996b*).

Unterhalb des Kronsaums ziehen zwei gleichbreite, parallel zum Kronsaum verlaufende Streifen über den Huf, deren Temperatur um je 1°C im Vergleich zur Temperatur des Kronsaums sinkt, je näher sie dem Tragrand sind. Die Huftemperatur sinkt allmählich in 1°C Streifen zum Tragrand hin ab (*Purohit u. McCoy, 1980*).

Bei der Messung der Huftemperatur entlang der dorsalen Mittellinie des Hufes konnte ein deutlicher Temperaturanstieg auf Höhe des Kronsaums verzeichnet werden. Eine minimale Durchschnittstemperatur von 16,3°C, eine maximale Durchschnittstemperatur von 29,0°C und die höchste Temperaturdifferenz ($T_{\max} - T_{\min}$) von 15,3°C wurde entlang dieser Mittellinie ermittelt (*Kold u. Chappell, 1998*).

Von palmar (plantar) aus betrachtet, liegt der wärmste Bereich der distalen Gliedmaße konstant auf der Mittellinie der Ballengrube (*Turner, 1991*).

1.3.1.1 Einfluß der Umgebungstemperatur auf die Huftemperatur

Es liegen unterschiedliche Untersuchungen über die Abhängigkeit zwischen der Oberflächentemperatur von Pferdebeinen und der Umgebungstemperatur vor.

Eine Studie von *S.E. Palmer* maß die Oberflächentemperatur an zehn klinisch gesunden Pferden bei 5°C, 15°C und 25°C wobei er einunddreißig verschiedene Messpunkte an Vorder- und Hinterbeinen festlegte. Die Messpunkte waren unter anderem auf der medianen der dorsalen Hufwand und der des Kronsaums, jeweils auf den Vorder- und Hinterhufen lokalisiert. Jeweils eine Stunde lang wurden die Pferde der definierten konstanten Umgebungstemperatur ausgesetzt, bevor die Messungen vorgenommen wurden.

Die an der dorsalen Hufwand gemessenen Temperaturen liegen deutlich unter denen des Kronsaums. Sowohl die Kronsaumtemperatur, als auch die Temperatur der dorsalen Hufwand stieg proportional zur Umgebungstemperatur (*Palmer, 1983*).

In einer Studie von *Mogg* lag der Messpunkt für die Huftemperatur 1 cm distal des Kronsaums und es zeigte sich, dass die Huftemperatur bei konstanter Umgebungstemperatur ebenfalls auf einem konstanten Niveau blieb. Bei einem Absenken der Umgebungstemperatur sank auch die Huftemperatur zum gleichen Zeitpunkt ab, blieb aber nicht konstant, sondern zeigte kleinere Gradabweichungen. Bei Anheben der Umgebungstemperatur auf das ursprüngliche Niveau stieg auch parallel dazu die Huftemperatur an.

Bei ansteigender rektaler Temperatur sank die Huftemperatur drastisch, um dann in der Plateauphase der Fieberkurve auf ein höheres Niveau im Vergleich zur Ausgangstemperatur anzusteigen. Diese Ergebnisse wurden bei konstanter Umgebungstemperatur erhoben (*Mogg u. Pollitt, 1992*).

Flores maß die Temperatur an der dorsalen Hufwand vor und nach dem Beschlagen. Die Eisen wurden im erwärmten Zustand aufgepasst. Gleich nach dem Beschlag zeigte sich eine Temperaturniedrigung, die drei Stunden später in eine Temperaturerhöhung umschlug. Erst nach 48 Stunden waren die Ausgangswerte wieder erreicht (*Flores, 1978*).

1.3.1.2 Einfluß von Pharmakologika auf die Huftemperatur

Untersuchungen über die Temperatur des Kronsaums an stehenden Pferden und an Pferden, die nach Sedation mit Acepromazin (0,05 mg/kg) auf der Seite liegend unter Allgemeinanästhesie (Glyceryl Guaiacolate (100 mg / kg) , Thiamylal sodium (4,4 ml / kg), Halothan und Sauerstoff) standen, zeigten, dass die unter Allgemeinanästhesie gemessenen Werte höher waren, als die, die im Stall an gleicher Lokalisation gemessen wurden. Die Umgebungstemperatur war sowohl im Stall, als auch im OP- Raum identisch (*Palmer, 1981*).

Um die periphere, gefäßerweiternde Wirkung von Isoxsuprin zu messen, wurde Isoxsuprin Hydrochlorid oral als Paste in Dosen von 0,6 mg/kg und 1,2 mg/kg gegeben und vor und bis 8 Stunden nach Eingabe die Infrarot – Thermographie der Gliedmaßenenden durchgeführt. Am Kronsaum konnte ein signifikanter Temperaturanstieg nachgewiesen werden, der zwischen 90 und 480 Minuten nach der Verabreichung auftrat. Der maximale Anstieg betrug 3,1°C und war 4 Stunden nach Gabe der Substanz zu verzeichnen (*Rose et al., 1983*).

Studien über die Auswirkung der intravenösen Gabe von IsoxsuprineHCl (in einer Lösung von 50 ml H₂O und 25 ml 95% Ethanol) auf die Oberflächentemperatur der Vorderbeine und –hufe zeigten, dass schon 30 min nach i.v. Injektion von 2 mg Isoxsuprin/kg thermographisch ein deutlicher Abfall der Oberflächentemperatur dokumentiert werden konnte. 240 Minuten nach Injektion wurde die Ausgangs- bzw. Kontrolltemperatur vor Isoxsuprine- Injektion wieder erreicht (*Harkins et al., 1996*).

Ebenfalls thermographisch dokumentiert wurde die orale Verabreichung von Isoxsuprin in Gaben von 0,9 mg/kg und 1,2 mg/kg. Dabei wurde ein deutlicher Temperaturanstieg verzeichnet, der vier Stunden nach der oralen Verabreichung bei der Gruppe, die 0,9 mg/kg erhalten hatte, 2,2 °C über der Ausgangstemperatur lag. Die Pferde, denen 1,2 mg/kg Isoxsuprine oral verabreicht wurde, zeigten bei der thermographischen Verlaufsuntersuchung ebenfalls nach vier Stunden einen Temperaturhöhepunkt, der 1,8°C über dem zuvor gemessenen Wert lag (*Deumer et al., 1991*).

1.3.1.3 Erkrankungen des Hufes und ihre Auswirkungen auf die Huftemperatur

Im Falle einer sagittalen intraartikulären Hufbeinfraktur wird eine geringgradig ödematös verdickte, mittelgradig warme Krone und eine mittelgradig erhöhte Hornwandtemperatur beschrieben (*Schedle u. Hofmann, 1983*).

Auch *Weil* stellte bei Pferden mit der Diagnose Hufbeinfraktur einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Werten der betroffenen Regionen Huf und Fessel im Vergleich mit den entsprechenden Regionen der lahmheitsfreien Pferde fest, allerdings bestand diese Gruppe nur aus drei Pferden (*Weil, 1997*).

Infolge einer Hufbeinastfraktur konnte ebenfalls eine erhöhte Huftemperatur beobachtet werden. Am anderen Huf lag infolge der Überbelastung (hochgradige Lahmheit) eine über den physiologischen Bereich hinausgehende Temperaturerhöhung vor (*Flores, 1978*).

An Podotrochlose erkrankte Pferde zeigten einen geringeren Temperaturanstieg am Huf nach 15 Minuten Bewegung als Pferde, die nicht an Podotrochlose erkrankt waren (*Turner et al., 1983*).

Das thermographische Bild der Erkrankung „Podotrochlose“ ist charakterisiert durch einen reduzierten Blutfluss im Huf und zeigt daher einen starken Kontrast zu anderen inflammatorischen Prozessen wie Abszessen oder Frakturen innerhalb der Hufkapsel, die fokale Anstiege der Oberflächentemperatur der betroffenen Seite zeigen. In diesen Fällen intensiviert Bewegung den „hot spot“ (*Turner, 1991*).

Eine akute Hufrehe, die eine fortgeschrittene Rotation des Hufbeins zeigte, stellte sich thermographisch als hochentzündliches Geschehen in beiden Vorderhufen dar (*Schnabl u. Zeller, 1982*).

Bei Verdacht auf Hufrehe zeigte das Thermogramm eine vermehrte Wärme des Hufes direkt auf und unterhalb des Kronsaums, welches einer deutlichen Abweichung von dem normalen Muster entspricht. Die Pulsation der Zehenarterien war verstärkt und 24 Stunden nachdem die thermographischen Aufnahmen angefertigt worden waren, war klinisch eine Hufrehe offensichtlich (*Purohit u. McCoy, 1980*).

Nach einer Kohlenhydrat – induzierten Hufrehe fiel die Oberflächentemperatur der Hufwand innerhalb der nächsten 8 bis 12 Stunden deutlich ab. Eine Hyperthermie ergab sich erst in der akuten Erkrankungsphase mit dem Auftreten von Lahmheitszeichen. Ein anschließender Versuch konnte bestätigen, dass sich die Messung der Oberflächentemperatur der Hufwand als Hinweis für hämodynamische Veränderungen in den Zehengefäßen bei Pferden mit Hufrehe eignet (*Hood et al., 2001*).

Weil et al. (1998) hingegen konnten in der Region Huf bei Pferden, die an Hufrehe erkrankt waren, keinen signifikanten Temperaturunterschied feststellen.

Auch die Diagnose „Abszeß in der Hufwand“ ist mit Hilfe der Thermographie möglich, die neben klinischen Befunden wie verstärkte Pulsation der Aa. digitales, einer Stützbeinlahmheit der entsprechenden Gliedmaße und schwach positiver Hufzangenprobe, den entscheidenden Hinweis durch eine lokalisierte Wärmeerhöhung an der dorsalen Hufwand geben kann (*Cronau et al., 1990*).

Im Falle eines Nageltrittes war an der Eintrittsstelle des Nagels am medialen Strahl der Sohle eine Temperaturdifferenz von 4°C im Vergleich zum lateralen Strahl erkennbar (*Kold u. Chappell, 1998*).

1.3.1.4 Einfluß von Bewegung auf die Huftemperatur

Das Longieren im Trab über 15 Minuten (jeweils 7,5 Minuten in eine Richtung) hat einen Anstieg der Huftemperatur, im beschriebenen Fall um 0,82°C, zur Folge (*Turner et al., 1983*).

Um die Auswirkungen des Barrens oder Touchierens von Pferdebeinen während des Springtrainings zu untersuchen, wurden Springpferde vor und nach dem Einspringen, sowie nach dem Touchieren mit verschiedenen Touchiergeräten thermographiert. Die Hufe kühlten sich während der Arbeit etwas ab und erwärmten sich vor allem nach der Arbeit stark. Zwei bis drei Stunden nach dem Touchieren kühlten sie sich wieder etwas ab. Dieser Verlauf konnte sowohl in der Kontroll- wie auch an den touchierten Gliedmaßen nachgewiesen werden. Kleinere örtliche Unterschiede waren vorhanden (*Auer et al., 1993*).

Ein Absinken der Temperatur an den Hufen zeigt sich direkt nach 10 Minuten Longenarbeit im Trab, während an allen anderen Messpunkten der Gliedmaßen eine sofortige Temperaturerhöhung einsetzte (*Flores, 1978*).