

# Aluminiummatrixverbundwerkstoffe – neue Werkstoffe im Hufbeschlag

## Teil 1: Die Herstellung von handgeschmiedeten Hufeisen

J. Anich<sup>1</sup>, Ch. Stanek<sup>1</sup>, Christine Hinterhofer<sup>1</sup> und R. Kretz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitätsklinik für Orthopädie bei Huf- und Klautentieren, Veterinärmedizinische Universität Wien

<sup>2</sup> Leichtmetall-Kompetenzzentrum, Ranshofen

### Zusammenfassung

Im ersten Teil der Untersuchungen wurden die Parameter und Möglichkeiten zur manuellen Herstellung von glattschenkeligen, gestempelten, wie auch gefalzten Hufeisen aus Matrix-Verbundwerkstoffen erarbeitet. Die partikelverstärkte Knetlegierung W6 A 22A (AlMg1SiCu, 22% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – SERIE A – und die partikelverstärkte Gußlegierung F3 S,20S-T6 (20% SiC) – SERIE B – wurden in Form von Rechteckprofilen (25 x 10 mm) unter Verwendung eines eigens konstruierten, regelbaren Starkstromofens in konventioneller Weise zu Hufeisen verarbeitet. Das Schmieden erfolgte bei einer eingestellten Ofentemperatur von 650°C im Temperaturbereich von 370 – 450°C, unter Bestimmung der Werkstofftemperatur mittels eines Digitalthermometers. Die makroskopisch als fehlerfrei befundenen Hufeisen wurden auf tote Hufe aufgenagelt. Das Kaltrichten, und Anpassen, wie auch das Anbringen einer Zehenrichtung im kalten Zustand stellte sich als zu bevorzugendes Verfahren heraus. Stifte und Stollen konnten erfolgreich an den Hufeisen befestigt werden.

**Schlüsselwörter:** Reitpferde, Aluminium, Matrixverbundwerkstoffe, Hufeisen, Schmieden

### Aluminium matrix composites – a new material in horseshoeing

#### Part 1 – Forging horseshoes

The first step of the experiments included the development of techniques for the proper forming of plain stamped and fullered horseshoes made of aluminium matrix composites. Particle reinforced wrought alloy, W6A 22 A (AlMg1SiCu, 22% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in SERIES A and foundry alloy, F3 S,20S-T6 (20% SiC) in SERIES B were forged out of bars (25 x 10 mm) using a specially constructed electric forge. The ideal forging temperature was found at 380 – 450°C, with 650 °C inside the forge. Forging in a wrong range of temperature was the most important factor of material failure. A portable temperature measuring device was used for the estimation of the forging temperature. In a second step plain fullered horseshoes with a proved macroscopic quality were nailed on cadaver specimen. Fitting the horseshoes, as well as setting the toe can only be recommended with cold shoes. Studs and tungsten carbide pins could easily be applied at the horseshoes.

**keywords:** riding horses, aluminium, matrix composites, horseshoe, forging

### Einleitung

Im Zuge der Nutzung des Pferdes war der Mensch bald mit dem Problem einer Abnutzung der Hufe über das physiologische Maß hinaus konfrontiert. So wurden historische Methoden zum Schutze der Hufe entwickelt, die als Grassandalen im Orient oder als Hipposandalen der Römer archäologisch dokumentiert sind (Butler, 1995). Die ersten Hufeisen, die in ihrer Form den heutigen Hufeisen entsprachen und bereits aufgenagelt wurden, gehen vermutlich auf die Kelten (450 n. Chr.) zurück. Auch eine Entwicklung des Hufbeschlages durch vorderasiatische Reitervölker ist möglich (Butler, 1995; Habacher, 1948).

Seit dieser Zeit und gerade in unserem Jahrhundert zeugen unzählige Patente davon, den Hufbeschlag verbessern zu wollen (Hertsch, 1995). Der bis heute bewährteste Werkstoff zur Herstellung von Hufbeschlägen ist Stahl. Da auch dieser Werkstoff neben mannigfaltigen Vorteilen in der Verarbeitung und der Verschleißfestigkeit Nachteile in Bezug auf sein Gewicht und das Fehlen einer gewissen Elastizität in sich birgt (Ruthe, 1978), wurden und werden neue Werkstoffe als Alternativen oder zum Ersatz des klassischen Huf-

eisens propagiert (Hertsch, 1995). Dies betrifft sowohl Kunststoffe als auch Leichtmetalle.

Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (engl.= MMC, metal-matrix-composite) sind Werkstoffe, die aus mehreren, in den überwiegenden Fällen aber aus zwei Phasen bestehen, die meist auch unterschiedlichen Werkstoffgruppen angehören (Kammer, 1995). Dabei bestimmen die Wechselwirkungen zwischen Metall und Keramik die Qualität der Bauteile. Sowohl die unterschiedlichen Komponenten als auch ihr Mischungsverhältnis sind für die physikalischen Eigenschaften verantwortlich. Hohe Festigkeit, hoher Elastizitätsmodul und damit höhere Steifigkeit von Bauteilen und hohe Verschleißfestigkeit sind nur einige der Ansprüche an neue Leichtbauwerkstoffe (Degischer et al., 1992). Die Forderung nach leichten Werkstoffen, die neben der geringen Dichte noch andere spezielle Eigenschaften aufweisen, besteht in vielen Anwendungsbereichen. Partikelverstärkte Aluminium-Gußlegierungen sind erst seit kurzer Zeit bekannte Werkstoffe, die sich erst etablieren müssen (Pfeffel et al., 1996). Ihren technischen Einsatz finden Matrixver-

bundwerkstoffe derzeit in der Fahrzeugindustrie, wie etwa in der Herstellung von Gehäusen, Brems- und Motorenteilen. Einen Nachteil stellt der heute immer noch recht hohe Preis der MMCs dar, der in den aufwendigen Herstellverfahren begründet ist (*Degischer et al., 1992*).

Es war naheliegend, die Eigenschaften von partikelverstärktem Aluminium, geringes Gewicht bei höherer mechanischer Beanspruchbarkeit, auch im Hufbeschlag einzusetzen. In der vorliegenden Literatur sind nur wenige Details über das Schmieden von Aluminium zu finden. Dies gilt in besonderem Maße für das Schmieden von Hufbeschlägen aus diesem Material – die Autoren stellen zur Diskussion, ob auch dafür der Terminus „Hufeisen“ seinen Platz hat. In der hier vorgestellten Studie wurde als erster Schritt die Möglichkeit geprüft, aus partikelverstärktem Aluminium vom Stab Hufeisen zu schmieden (*Anich, 1996*). So sollte den Notwendigkeiten einer individuellen Beschlagspraxis Rechnung getragen werden. Die technischen Details und Voraussetzungen werden mitgeteilt, die sich bei der Herstellung von handgefertigten Aluminiumeisen ergaben. Die MMC - Werkstoffe kamen dabei in Form sowohl einer partikelverstärkten Knet- und einer partikelverstärkten Gußlegierung zur Anwendung (*Duralcan, 1990*). Die Ergebnisse der praktischen Anwendung dieser Beschläge werden im zweiten Teil dieser Studie in dieser Zeitschrift mitgeteilt.

#### Aluminium, seine Legierungen und Aluminium – MMC als Rohstoffe zur Herstellung von Hufeisen

Aluminium hat folgende charakteristischen Eigenschaften (*Hufnagel, 1988*): Geringe Dichte (1/3 von Eisen), günstige Festigkeitseigenschaften bezogen auf die Masse, Korrosionsbeständigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe elektrische Leitfähigkeit, mechanische Bearbeitbarkeit und Umformbarkeit.

Bereits *Dollar und Wheatley (1898)* berichten über die erfolgreiche Verwendung von Aluminium für Rennbeschläge. *Fischer (1933)* spricht sich gegen die Versuche aus, Aluminium als Werkstoff für Hufeisen zu verwenden. Reinaluminium ist kalt schmiedbar, sofern es frei von Verunreinigungen ist, hat allerdings eine geringe Beständigkeit bezüglich des Abriebes (*Habacher, 1941; Springhall, 1964*).

Legierungen auf Aluminiumbasis sind aufgrund ihrer geringen Dichte (*Fischer, 1933; Hickman und Humphrey, 1988*) und wegen ihrer höheren Haltbarkeit interessante Werkstoffe zur Herstellung von Hufeisen (*Springhall, 1964*). Aluminium-Bronze, bestehend aus 90% Aluminium und 10% Kupfer, kann nicht erwärmt werden und ist kalt kaum schmiedbar, die Herstellung der Hufeisen erfolgt im Gußverfahren. Andere Legierungen mit Kupfer oder Kadmi- um führten zur Entwicklung von relativ widerstandsfähigen, leichten Hufeisen für Rennpferde (*Fischer, 1933; Habacher, 1941*). Dazu zählen die Hufeisen aus Duraluminium, die zwar relativ teuer sind, aber im Rennpferdebeschlag heute einen festen Platz einnehmen (*Hickman, 1977*). Die Beschläge werden gepreßt und dann oft durch Fräsen nachgearbeitet, was u.a. an einer ovalen Form der Nagellöcher

zu erkennen ist. Unter Duraluminium wird eine aushärtbare Aluminiumlegierung mit Kupfergehalten bis 4,2 % und Magnesiumgehalten von 0,5 bis 2,5 % verstanden, die gegebenenfalls weitere Zusätze, wie etwa Mangan, Silicium und Eisen bis zu 1%, enthält (*Brunhuber, 1988*). Im Handel erhältliche Hufeisen aus Aluminium für Rennpferde sind zu meist oberflächenbehandelt, um erhöhte Abriebfestigkeit zu gewährleisten. Ein Warmbeschlag mit Aluminiumhufeisen ist zwar theoretisch möglich, die gehärtete Oberfläche würde allerdings im Feuer zerstört werden (*Hickman und Humphrey, 1988*). Die meisten im Handel erhältlichen Aluminiumlegierungen sind kalt, jedoch nur stark eingeschränkt, schmiedbar (*Butler, 1995; Hickman, 1977*).

Da bei Rennpferden die fabrikgefertigten Aluminiumbeschläge meist ohne viel gerichtet zu werden aufgeschlagen werden, finden sich nur wenige Literaturhinweise über die Möglichkeiten des Schmiedens von Hufeisen aus Aluminium und seinen Legierungen. Allen diesen Literaturstellen ist jedoch zu entnehmen, daß das Schmieden von Aluminiumhufeisen sehr schwierig ist, da Aluminium während des Erhitzens im Gegensatz zu Stahl seine Farbe nicht verändert (*Butler, 1995; Dollar und Wheatley, 1898; Fischer, 1933; Hickman und Humphrey, 1988; Springhall, 1964*). *Hickman und Humphrey (1988)* geben den Schmelzpunkt für Aluminium bei 660°C an, wobei sie ein vorsichtiges Erhitzen des Werkstoffes für notwendig halten, da eine Zerstörung im Schmiedefeuer rasch vor sich gehen kann. Um die richtige Schmiedetemperatur herauszufinden, raten diese Autoren, ein gebrauchtes Zündholz am erhitzten Aluminiumstab zu reiben. Beginnt das Streichholz zu verkohlen, muß die weitere Erwärmung sofort abgebrochen werden. Lediglich *Butler (1995)* gibt einige praktische Hinweise zum Schmieden von Aluminium: Zum einen kann das vorgefertigte Hufeisen mit Öl (gebrauchtes Maschinenöl oder ähnliches) übergossen werden und im Kohlefeuer oder Gasofen erhitzt werden. Beginnt das Öl Blasen zu bilden, hat das Material die richtige Schmiedetemperatur. Oftmaliges kurzzeitiges Erhitzen und Probeschmieden, bis das Material unter dem Hammer nachgibt, ermöglicht ebenfalls die Bestimmung der Schmiedetemperatur. Ebenso rät *Butler (1995)*, das erhitzte Aluminium am Holzstiel des Schmiedehammers zu reiben, wobei ein beginnendes Verkohlen oder Haftenbleiben für eine ausreichende Wärme des Materials spricht. Überhitztes Aluminium bildet Klumpen, die unter dem Hammer auseinanderbrechen und vom Amboss spritzen (*Butler, 1995; Hickman und Humphrey, 1988*). Ein Abkühlen des zu heiß gewordenen Aluminiumstabes oder -hufeisens ist durch schnelles Bewegen gegen den Luftstrom möglich (*Butler, 1995*). Aluminiumlegierungen sollten im Anschluß an das Schmieden luftkühlen, ein Abschrecken im Wasser ist zu vermeiden, da Sprünge im Material auftreten können und ein Härten im Wasser ohnedies nicht möglich ist (*Hickman und Humphrey, 1988; Butler, 1995*). Die teilchenverstärkten Legierungen dürfen im Verlauf der Verarbeitung keinesfalls über eine bestimmte Temperatur erhitzt werden, da es sonst zur Bildung von Karbidnestern kommt, an welchen Stellen eine massive Neigung zum Bruch entsteht (*Kammer, 1995*).

## Material und Methodik

### Ausgangsmaterial

In zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Versuchen wurden eine partikelverstärkte Knetlegierung (SERIE A) und eine partikelverstärkte Gußlegierung aus Aluminium (SERIE B) bezüglich ihrer Schmiedetauglichkeit und Eignung für den Hufbeschlag getestet.

Ausgangsmaterial sind Strangpreßbolzen (Firma Duralcan (San Diego, CA 92121, USA)), zylindrische Körper von etwa 15 cm Durchmesser und 35 cm Länge. Die Herstellung der Strangpreßbolzen erfolgt über eine schmelzmetallurgische Einrührmethode, wobei es zur Einbettung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Teilchen in den Knetwerkstoff kommt. Die so gewonnene, vom Hersteller Duralcan W 6 A. 22A bezeichnete Knetlegierung besteht aus  $22 \pm 2$  Vol.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Partikeln, eingebettet in einer Matrix, die im Internationalen Legierungsregister unter der Bezeichnung AA6061, nach der ISO-Norm AlMg1SiCu, zu finden ist (Hufnagel, 1988). Nach Angaben der Herstellerfirma liegt der Durchmesser der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Partikel bei  $20\mu\text{m}$  (22 Vol.%), die Konzentration des Aluminiums in der Matrix (78 Vol. %) beträgt über 99 %, Silicium findet sich zu 0,5 – 0,65 %, Magnesium zu 0,8 – 1,2 %. Die relative Dichte des Materials beträgt 2,5 – 3,0 (Wasser = 1,0), das Schmelzintervall wird im Bereich von 580 – 640° C angegeben. Die Strangpreßbolzen aus teilchenverstärkter Knetlegierung (SERIE A) wurden in Österreich (Leichtmetall Kompetenzzentrum des Forschungszentrums Seibersdorf, Ranshofen, A) in einer Strangpreßanlage unter Druck (bis zu 15 MN) in Flachstangen umgearbeitet. Die in Ranshofen hergestellten Langfabrikate oder Profile gelangen unter der Bezeichnung KERAMAL® 6061 /  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / 22p - T6 auf den Markt. Die Dichte dieses Aluminiummatrix- Verbundwerkstoffes wird mit  $2,95 \text{ g/cm}^3$  angegeben.

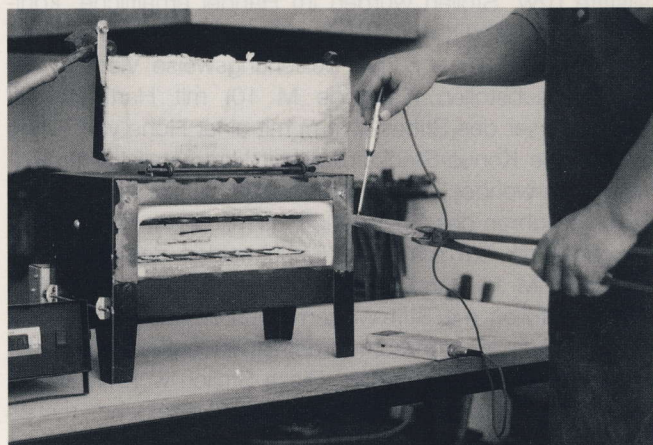
Das teilchenverstärkte Aluminium stand schließlich in Form von Rechteckprofilen (Flachstangen mit ca. 2 m Länge), in einer Dimension von 20 x 10 mm und 25 x 10 mm (Breite x Stärke) zum Schmieden von Hufeisen zur Verfügung.

Die in SERIE B eingesetzte teilchenverstärkte Gußlegierung wird ebenfalls von der Fa. Duralcan hergestellt. Die nach der selben schmelzmetallurgischen Einrührmethode gefertigten Gußlegierungsbolzen wurden in Ranshofen zu Rechteckprofilen mit einer Dimension von 25 x 10 mm (Breite x Stärke) stranggepresst. Diese stellten in Form von ein Meter langen Flachstangen das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Hufeisen dar.

Diese partikelverstärkte Gußlegierung F 3 S, 20S-T6 (Foundry Alloy, 20 Vol.% SiC, T6...Lösungsgeglüht & Warmausgelagert) weist eine Dichte von  $2,77 \text{ g/cm}^3$  auf. Die Matrixlegierung (80 Vol.%, AlSi9Mg), in der Siliciumcarbid-Partikel (20 Vol.%) zur Verstärkung des Werkstoffes eingebettet liegen, setzt sich neben Aluminium zu 8,5 – 9,5 % aus Silicium und zu 0,45 – 0,65 % aus Magnesium zusammen. Das Erstarrungsintervall (Schmelzintervall) wird mit 550 – 610 °C angegeben.

### Verwendete Öfen

Zunächst wurde ein transportabler Propangasofen (Modell "Whisper Momma"® 6902, Fa. NC Tool CO. Pleasant Garden NC. 27313) mit vorderem Zugang angeschafft. Dieser Ofen wurde in einen starkstrombetriebenen, regelbaren Elektroofen umgebaut. Der mikroprozessorgesteuerte Temperaturregler (Modell ST 70, Fa. Störk Tronic) variiert die einstellbare Ofentemperatur zwischen 0 und 1000°C. Bei Überschreiten der Solltemperatur schaltet die Stromzufuhr in die Heizspiralen ab, ein erneutes Einschalten erfolgt bei geringgradigem Unterschreiten der eingestellten Temperatur. Die Stromversorgung erfolgt über ein 380 V, 16 A Stromnetz. Um die Temperatur des zu bearbeitenden Materials nach Entnahme aus dem Ofen direkt messen zu können, wurde ein batteriebetriebener Temperaturfühler (Modell „Therm 2260-3 NiCr-Ni-70...+1000°C“, Fa. Ahlborn Meß- und Regeltechnik) verwendet (Abb. 1). Durch schrittweise punktförmiges Messen sollten damit die einzustellende



**Abb. 1:** Temperaturprüfung am aus dem Elektroofen entnommenen Werkstück; im Zentrum der Elektroofen mit dem links stehenden Regelgerät.

Measurement of temperature on the horseshoe immediately after coming out of the electric forge. The measurement device is standing on the left.

Ofentemperatur und die Schmiedetemperatur ermittelt werden. Als Richtwert zum Schmieden des in Stangen gepreßten Ausgangsmaterials wurden 400 – 450°C angenommen, wobei ein kontrolliertes Erhitzen des Ausgangsmaterials angestrebt wurde. Speziell galt es, zur Vermeidung von Karbidnestern eine Überhitzung verlässlich zu verhindern.

### Fertigung und Prüfung der Hufeisen

Sowohl aus der Knetlegierung (SERIE A) wie auch aus der Gußlegierung (SERIE B) wurden zunächst gestempelte Hufeisen gefertigt. Nachdem dies erfolgreich verlaufen war, wurden stollenlose, gefaltete, gleichdicke, mit Kappen versehene Hufeisen, sowohl Vorder- als auch Hinterhufeisen, in für Warmblutpferden geeigneten Größen geschmiedet. In einem weiteren Schritt wurden die Voraussetzungen zum Einsetzen von Hartmetallstiften bzw. von Schraubstollen geklärt.

Alle handgeschmiedeten Hufeisen wurden einer makroskopischen Prüfung unterzogen, im Rahmen derer eine Kennzeichnung der Hufeisen mittels Schlagzahlen erfolgte.

Nun wurden die Beschläge makroskopisch genauestens auf Material- und Gefügeveränderungen geprüft, wobei vor allem eine optische Prüfung auf Rißfreiheit erfolgte. Zudem erfolgte in SERIE A wie auch in SERIE B eine radiologische Prüfung und eine Prüfung auf Risse nach dem Farbeindringungsverfahren an jeweils zwei Hufeisen, die makroskopisch als rißfrei befundet worden waren. Die Röntgenuntersuchung erfolgte im Leichtmetallkompetenzzentrum, wobei mittels Feinfocusaufnahmen eine Auflösung bis 0,5 mm erzielt wurde. Die Rißprüfung wurde mit einem fluoreszierenden Eindringungsmittel (ARDROX- Biopen P6 R) unter Verwendung des Weißentwicklers ARDROX- 9 PR 88 mittels UV-Lichtes durchgeführt.

Alle hergestellten Hufeisen wurden bezüglich ihres Gewichtes und ihrer Maße in Checklisten festgehalten. Als Hartmetallstifte bzw. Stollen wurden im Handel erhältliche, konische Hartmetallstifte aus Wolframkarbid mit einem Durchmesser von 4,3 – 4,5 mm beziehungsweise Vierkant (10 mm)-Schraubstollen (Gewinde M 10) mit Hartmetallstift (Durchmesser des Stiftes 4 mm) mit einer Höhe von 8 mm ebenso wie Konus-Steckstollen mit Hartmetallstift für Aluminium verwendet. Das Einschrauben der Stollen erfolgte nach Vorbohren des Gewindeloches mit einem HSS-Bohrer (Durchmesser 8,5 mm) und Einschneiden des Gewindes mit einem M 10-Hand-Gewindeschneider. Die runden Konussteckstollen mit Stift wiesen einen Konusdurchmesser von 3/8" auf, das Vohrbohren der Stollenlöcher erfolgte mit einem 6,5 mm HSS-Bohrer. Diese Stollen wurden analog den Hartmetallstiften nach Weiten des Stollenloches mittels eines entsprechenden Körners mit dem Hammer in die Schenkelenden eingeschlagen.

Als erster Schritt einer praktischen Anwendung wurden zunächst vom Schlachthof erhaltene Pferdebeine, die im Karpal- oder Tarsalgelenk abgesetzt waren und mittels einer schraubbaren Haltevorrichtung an einen Arbeitstisch fixiert wurden, beschlagen. Dabei sollte speziell die Möglichkeit des warmen Beschlages geprüft werden. Insgesamt wurden 10 vordere und 10 hintere gefalzte, gleichschenkelige Pantoffelhufeisen der SERIE A warm aufgeschlagen und jeweils 10 Hufeisen der SERIE A und der SERIE B kalt gerichtet und kalt aufgeschlagen.

Die Korrektur erfolgte durch Kürzen der Hufe in konventioneller Weise in Richtung einer regelmäßigen Bodenfläche. Ein der Größe des Hufes entsprechendes Hufeisen wurde geschmiedet, ein Abzeichnen der Hufform und exaktes Nachschmieden dabei aber bewußt vermieden. Die Herstellung der handgeschmiedeten Hufeisen sollte in vorgegebenen Größen erfolgen, die nach dem Schmieden erst auf die jeweilige Hufform exakt nachzurichten sind. Beim Richten der Hufeisen stand der Grundgedanke im Vordergrund, die bereits geschmiedeten Hufeisen unter den praktischen Verhältnissen eines ambulant tätigen Hufschmiedes den Hufen anzupassen.

Zum Anpassen der Hufeisen (SERIE A) im warmen Zustand wurden die der Hufgröße entsprechend geschmiedeten, vor-

gefertigten Hufeisen in einem offenen Propangasofen (Modell Kerkhaert, NL) auf eine Temperatur von 400 – 450°C erhitzt. Die vom Hersteller angegebene, maximal zu erreichende Ofeninnentemperatur wurde mit 950°C angenommen. Diese Bauart von Gasöfen steht in vielfacher Verwendung zum Warmbeschlagen bei fahrenden Hufschmieden. Das Erreichen des gewünschten Temperaturbereiches wurde durch mehrmaliges kurzes Einbringen des Hufeisens (30 – 45 s) in den Ofen mittels einer geeigneten Schmiedezeange bewerkstelligt. Dabei wurde in ebenso kurzen Abständen die Temperatur mit dem Digitalthermometer bestimmt. Zudem wurden die Messungen mit der Möglichkeit der Bestimmung des Schmiedezeitpunktes durch einfachere Methoden verglichen. Anschwärzen eines Holzstückes und mehrfaches Erwärmen des Hufeisens und Ausprobieren der Schmiedeeigenschaften unter dem Hammer wurden zur Evaluierung des geeigneten Schmiedezeitpunktes herangezogen. Das Anschmieden einer Zehenrichtung und das Aufbrennen wurden im Zuge des Warmrichtens ebenso getestet wie das zusätzliche Anbringen von Kappen am Hufeisen.

Bei jenen Eisen, die in kaltem Zustand aufgeschlagen wurden (SERIE A und B), erfolgte das Richten und das Anbringen einer Zehenrichtung im kalten Zustand am Amboß.

Sodann wurden die Hufeisen auf die Leichenhufe aufgeschlagen, beurteilt und wieder abgenommen. Die abgenommenen Hufeisen wurden einer makroskopischen Prüfung unterzogen, wobei besonders auf eventuelle Risse im Bereich der angebogenen Zehenrichtung und der stärker gerichteten Teile der Hufeisen, sowie im Bereich der angebrachten Stifte oder Stollen geachtet wurde. Ebenso erfolgte eine Kontrolle der Kappen, die ja nach erfolgtem Aufnageln leicht an die Hufwand geschlagen wurden. Zudem wurden mögliche Formveränderungen der Hufeisen beim Aufnageln beachtet.

## Ergebnisse

### *Optimale Schmiede- und Ofentemperatur zum Schmieden von teilchenverstärkten Aluminiumlegierungen*

Die angestellten Versuche zum Schmieden der teilchenverstärkten Knetlegierung (Serie A) zeigten, daß für alle Teilschritte zur Herstellung von Hufeisen eine Ausgangstemperatur des Schmiedegutes von mindestens 400°C erforderlich war. Probleme beim Schmieden traten im Rahmen des Bearbeitungsprozesses, bei welchem das Werkstück natürlich abkühlte, beim Unterschreiten einer Temperatur von 350°C auf. In erster Linie kam es zur Rißbildung an der Oberfläche und an den Kanten, wodurch zu Beginn immer wieder Hufeisenteile bei der Bearbeitung in ganzen Stücken abbrechen. Die kritische Temperatur von 350°C stimmte ziemlich genau mit dem Zeitpunkt überein, ab dem das Material aufhörte, unter dem Hammer nachzugeben. Damit wurde klar, daß neben den Temperaturmessungen mit dem Thermoelement am Schmiedestück gerade das Entwickeln von sehr viel Gefühl beim Schmieden eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Anfertigung von fehlerfreien Hufeisen sein mußte. In diesem Zusammenhang wurden auch

beim Schmieden unter zwei Hämmern durchwegs schlechte Ergebnisse erzielt, sodaß die meisten Schmiedestücke aufgrund übermäßiger Ribbildung nicht mehr weiter verwendet werden konnten. Daher wurde von dieser Technik Abstand genommen. Bei den einzelnen Schmiedeschritten zeigte sich, daß die Empfindlichkeit des Material in Bezug auf Gefügeveränderungen stark temperaturabhängig war. In den Anfangsphasen wurde die Ofentemperatur zunächst auf 450°C eingestellt, um ein Überhitzen des Materials in allen Fällen zu vermeiden. Das Schmieden von Hufeisenpaaren hätte bei dieser Ofentemperatur jedoch sehr lange Zeit in Anspruch genommen. Durch das oftmalige Öffnen des Ofens beim Herausnehmen und Einlegen des Schmiedegutes trat ein starkes Temperaturgefälle auf. Die Ofentemperatur wurde nun schrittweise erhöht, bis ein zügiges



**Abb. 2:** Hintereisen, im Bereich des Schusses gebogen und vorgefalzt, der rechte Schenkel ist bereits in die definitive Form gebogen; dabei kam es nahe dem hinteren Ende des Falzes zu einem Einriß.

Hind limb shoe, after creation of the toe bend, bending the branch and fullering. A crack is visible at the palmar end of the crease.

Schmieden eines Hufeisenpaares möglich war. Schließlich wurden alle Hufeisen bei einer Ofentemperatur von 650°C geschmiedet. Allerdings mußte damit in Kauf genommen werden, daß mitunter Temperaturen an den Hufeisen auf-

traten, die eine Verarbeitung nicht mehr erlaubten. Als oberste Temperaturgrenze zum Bearbeiten der Aluminiumlegierung wurden 480°C angenommen. Als optimaler Bereich zum Anbringen des Falzes stellten sich Temperaturen zwischen 420° und 450°C heraus (Abb. 2). Mitunter kam es beim Schmieden des einen oder anderen Hufeisens zu Verzögerungen, so daß das zweite im Ofen befindliche Werkstück über diese Temperatur erhitzt wurde. Eine Bearbeitung der Knetlegierung über 500°C führte zur Zerstörung des Profilstabes, wobei das Material unter Klumpenbildung vom Amboß spritzte. Überhitztes Material kühlte durch schnelles Schwenken in der Luft oder einfaches Liegenlassen auf der Amboßbahn jedoch rasch ab, so daß nach einer erneuten Temperaturbestimmung eine Weiterverarbeitung möglich war. Im bereits auf Arbeitstemperatur (650°C) befindlichen Ofen benötigte das eingelegte Material (10–20°C) ungefähr 10 Minuten zum Erreichen einer Schmiedetemperatur von 400 – 450°C.

Die partikelverstärkte Gußlegierung (SERIE B) zeigte ähnliches Verhalten bei der Verarbeitung wie die Knetlegierung. Zunächst wurden die selben Bedingungen bezüglich der Ofen- und Schmiedetemperaturen wie in SERIE A angenommen. Das Material zeigte sich jedoch etwas schmiedefreundlicher als die Knetlegierung, die kritische Temperatur lag im Durchschnitt um 10 – 15°C tiefer als bei Knetlegierung. Dennoch wurden die der SERIE A entsprechenden Temperaturgrenzen auch beim Schmieden der Gußlegierung im wesentlichen eingehalten (siehe Tab. 1).

*Geeignete Schmiedemethoden zur Herstellung von Hufeisen*  
Die Herstellung von gestempelten Hufeisen erfolgte nur zur Evaluierung der Schmiedebedingungen, in der Folge wurden nur gefalzte Hufeisen geschmiedet.

Die zur Anfertigung von gefalzten Pantoffelhufeisen notwendige Stablänge ergab sich aus der Summe der Entfernungen der Trachtenecken zu den gegenüberliegenden Zehenzwänden. Als ideale Schmiedemethode stellte sich das For-

**Tab.1:** Dauer und Temperaturbereich beim Schmieden von teilchenverstärktem Aluminium (SERIE A und B).

Duration and temperature range during forging of particle reinforced wrought alloy.

Arbeitsschritt	Dauer	Schmiedetemperatur	Endtemperatur
Schmieden des Schusses	≈ 3 min.	400 – 450°C	280 – 300°C
Ausschmieden der Schenkel	≈3 – 4 min. pro Schenkel	> 400 °C	280 – 300°C
Vorbeissen von 3–4 Nagellöcher/ Schenkel	≈2 –3 min pro Schenkel	420 – 450°C	300°C
Falzen / Schenkel	≈2 min	420 – 450°C	350°C
Biegen und Über- schmieden der Schenkel	≈1–2 min	400 – 450 °C	300°C
Ziehen der Kappen /Kappe	≈1 min	420 – 450°C	350 – 380 °C
Erhitzen des Materials (zwischen den Arbeitsschritten)	≈5 – 6 min.	ENDTEMP. ≈ Schmiedetemp. 400 – 450 °C.	ANFANGSTEMP. 280 – 380 °C
Schmieden eines Stempelhufeisens	≈45 – 60 min	400 – 450 °C	280 – 380 °C
Schmieden eines Falzhufeisens	≈60 – 75 min	400 – 450 °C	280 – 380 °C

men des Schusses im ersten Arbeitsschritt und davon ausgehend das zunächst gerade Ausschmieden der Schenkel und das Falzen heraus. Im Anschluß erfolgte erst das Biegen der Schenkel in die gewünschte Form und ein leichtes Nacharbeiten des Falzes sowie das Stempeln und Durchlöchen der Nagellöcher. Das Ziehen der Kappe erfolgte mittels der Ballseite des Schmiedhammers über der Amboßkante.

Das Falzen der partikelverstärkten Legierungen (SERIE A und B) stellte den schwierigsten Teilschritt beim Schmieden von glattschenkeligen Pantoffelhufeisen dar. Die Klinge des Falzhammers hatte eine Länge von ungefähr 1,5 cm. Das Einsetzen des Falzes am Übergang vom Schuß in die Seitenteile des Hufeisens führte vor allem an engeren, stärker gebogenen Hufeisen zum Einreißen des Materials von der Anfangskante des Falzes nach außen. Obwohl der Falz-



**Abb. 3:** Einriß beim Falzen infolge Unterschreitens der Schmiedetemperatur.

Crack originating during fullering due to low forging temperature.

**Tab.2:** Fehlerhaft beurteilte Hufeisen (16 % der Gesamtzahl  $\cong$  35 Stück) in Serie A und B.

Defects of horse shoes (16 % of total number  $\cong$  35 horseshoes in Series A and B).

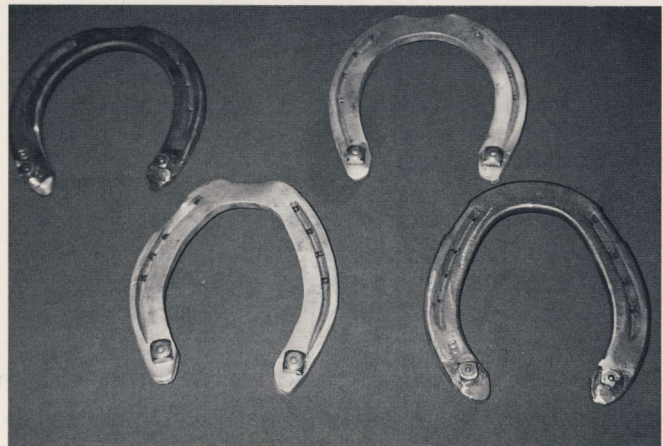
Makroskopisch ermittelter Fehler	Anzahl Hufeisen	% der als fehlerhaft beurteilten Hufeisen
Risse	24	68 %
Nagelverteilung	4	12 %
schwache Kappen	7	20 %

hammer mit Schmierfett eingefettet wurde, kam es zudem immer wieder zum Verkanten und Hängenbleiben des Falzhammers im Bereich von Biegungen. Aus diesen Gründen erfolgte das Falzen zur Herstellung von Pantoffelhufeisen ausschließlich vor dem Biegen der Schenkel. Die Schenkel wurden gerade ausgeschmiedet und bodeneng abgedacht, sowie die Schenkelenden geformt. Neben der Entstehung von Rissen am äußeren Hufeisenrand mußten auch feine Risse am Boden des Falzes beachtet werden. Diese Risse entstanden durch Abkühlen des Werkstoffes bei mehrmal-

gem Ansetzen des Falzhammers an einem Schenkel. Die Ursache dafür liegt zum einen in einer geringgradigen Kühlwirkung des verwendeten Fettes und der Wärmeabgabe des Werkstoffes an den Falzhammer, zum anderen traten größere Risse und in Einzelfällen Durchfalzen des Materials bei Unterschreiten eines kritischen, unteren Temperaturbereiches auf (Abb. 3). Dieser lag für die SERIE A bei 380°C, die Gußlegierung tolerierte ein Falzen unter leichtem Hammerschlag bis 360°C. Das Falzen beider Legierungen verlangte ein zügiges, gleichmäßiges Arbeiten von Schmied und Vorschläger. Das Einschlagen der Nagelkopfgesenke mit dem Vorbeisser führte des öfteren zum Einreißen des äußeren Hufeisenrandes, dies konnte jedoch durch strenges Einhalten von Schmiedetemperaturen über 420°C vermieden werden. Mitunter vergrößerten sich vorerst kaum sichtbare Risse am Grunde des Falzes beim Stempeln, in einigen wenigen Fällen kam es zum Durchreißen in die Huffläche.

Unter Einhaltung der ermittelten Schmiedetemperaturen und steigender Erfahrung in der Verarbeitung der teilchenverstärkten Legierungen war die Herstellung von über 200 gleichschenkeligen Pantoffelhufeisen möglich, die zum Teil an Reitpferden ausgetestet wurden. Das Schmieden eines Hufeisenpaares nahm bei synchronem Schmieden in etwa 90 Minuten in Anspruch (Abb. 4,5).

Im Gegensatz zum Schmieden von Stahl war eine Herstellung von fehlerfreien Hufeisen nur durch strenges Einhalten



**Abb. 4:** Kollektion von Vorder- und Hinterhufeisen aus partikelverstärktem Aluminium mit angebogenen Kappen und Schraubstollen (oben rechts, unten links) im Vergleich zu Stahlhufeisen.

Collection of front and hind shoes made from particle-reinforced alloy, partially with toe and side slips, in comparison to steel horse shoes.

der Temperaturbereiche möglich, ein Erhitzen des Materials war somit für jeden Arbeitsschritt notwendig.

#### Ergebnisse der Prüfung der handgeschmiedeten Hufeisen

Die geschmiedeten Hufeisen wurden positiv beurteilt, soweit Rißfreiheit mit freiem Auge festgestellt werden konnte und der Form und Ausarbeitung nach eine einwandfreie

Verwendung im Hufbeschlag möglich war. Etwa 15 % der geschmiedeten Hufeisen (Gesamtzahl  $\approx$  220 Hufeisen) wurden aufgrund makroskopischer Mängel von einer weiteren Verwendung ausgeschlossen (siehe Tab. 2). Dabei waren deutliche Fortschritte durch bessere Materialbeherrschung festzustellen. Der Ausschuß lag in der SERIE A etwa doppelt so hoch als in der Serie B.



**Abb. 5:** Blick auf die Sohlenfläche eines rechten Hufeisens mit vorderer und seitlicher Zehenkappe

View of the foot surface of a right limb horse shoe with adjusted front and side clips.

An zwei, makroskopisch als einwandfrei befundenen Hufeisen (SERIE A) konnten bei der Röntgenprüfung keine Fehler (Risse) im Material festgestellt werden. Zwei makroskopisch unauffällige Hufeisen (SERIE B) wiesen auch in Feinfocusaufnahmen keine Fehler (Risse) auf. An den vier (SERIE A und B) bei der Röntgenprüfung unauffälligen Hufeisen konnten mittels des Farbeindringungsverfahrens feine Risse im Bereich des Falzes (Boden des Falzes) festgestellt werden, ansonsten wurden keine Risse an den Hufeisen festgestellt.

#### *Richten der Hufeisen im warmen Zustand*

Das Warmaufrichten der 10 Vorder- und 10 Hintereisen (SERIE A) mittels Erhitzen der Hufeisen in einem für Hufschmiede üblichen Propangasofen stellte sich als schwierige Aufgabe heraus. Trotz vorsichtigem Erwärmen unter Zuhilfenahme des Handtemperaturmeßgerätes konnte im Propangasofen eine gleichmäßige Temperaturverteilung am Schmiedegut nicht erzielt werden. Unter Annahme einer Mindesttemperatur von 380 – 400°C, die sich beim Schmieden der Hufeisen als noch akzeptierbare Untergrenze beim leichten Biegen der Knetlegierung ergab, verteilte sich die mit dem Thermoelement gemessene Temperatur an verschiedenen Punkten des Hufeisens zwischen 380°C und 500°C. Damit erreichten Teile des Hufeisens Temperaturen, die oberhalb des möglichen Schmiedebereiches lagen. Dies ist damit zu erklären, daß sich die Temperatur im Ofen vor allem im Bereich der Brenneröffnung (Durchmesser 12 cm) auf einem höheren Niveau befand, gegen die Peripherie des Ofeninneren jedoch ein starkes Temperaturgefälle bestand. Durch die hohe Temperatur von etwa 950°C unter dem Brenner konnte auch bei oftmaligem, kurzen Einbringen (< 10 s) der Hufeisen und anschließender Temperaturmes-

sung eine gleichmäßige Erwärmung des gesamten Hufeisens nicht realisiert werden. Ein Richten und Anpassen der Hufeisen war wie auch ein leichtes Aufbrennen zwar möglich, jedoch in allen Fällen mit dem Risiko verbunden, die kritischen Temperaturgrenzen an einem Teil des Hufeisens im oberen oder unteren Bereiches zu überschreiten.

Materialfehler, die beim Anpassen der Schenkel oder beim Anbringen einer Zehenrichtung auftraten, reichten von leichter Rißbildung bis zum Abreißen von ganzen Hufeisenteilen bei der Bearbeitung mit dem Hammer. Prädilektionsstellen waren die stärker zu richtenden Hufeisenabschnitte, besonders aber die Schenkelenden. Hier kam es zum Ausreißen der Bohrlöcher und Herausfallen der Stollen. In allen Fällen konnte durch sofortiges Nachmessen ein Unterschreiten der kritischen Temperatur von 350°C nachgewiesen werden. Ein leichtes Aufbrennen der Hufeisen in einem Temperaturbereich von 380 – 480°C war durchaus möglich, es kam dabei zu einem durchgehenden, leichten Anbräunen der Eisenauftragfläche am Huf. Das Anbiegen einer Zehenrichtung gelang in allen Fällen, ebenso das Anlegen und leichte Einbrennen der Kappen im Bereich der Dorsal- beziehungsweise der Seitenwände.

Das Ausprobieren der Schmiedefähigkeit der Hufeisen nur nach dem „Gefühl“, jedoch ohne Temperaturmessung stellt auch bei noch so vorsichtigem Arbeiten keine geeignete Methode zum sicheren Richten von Hufeisen dar. Zwei von fünf Hufeisen wiesen nach dem Richten und Anbringen der Zehenrichtung Risse an mehreren Stellen auf, zwei Hufeisen brachen im Bereich der Schenkelenden ab, und nur ein Hufeisen konnte ohne sichtbaren Schaden aufgenagelt werden.



**Abb. 6:** Abbrechen eines Schenkelendes im Bereich des Bohrloches (Konusstollen) beim Richten des Hufeisens.

Breakage of the end of the heel, generated at the site of the drilling hole for calks during widening of the branch.

Die Bestimmung der Schmiedetemperatur durch Anbräunen eines Holzstückes führte zum Auftreten von Materialfehlern in zwei von fünf Fällen. In beiden Fällen kam es zur Rißbildung im Bereich der Schenkel. Das Anbräunen eines Holzstückes erfolgt ab einer Temperatur von 300°C, die Intensität der Schwarzverfärbung läßt jedoch ab Temperaturen von 400°C keine Schlüsse auf die Temperatur des Materials zu.

Rückblickend kann gesagt werden, daß ein gleichmäßiges Erwärmen der Hufeisen beider eingesetzter Aluminiumlegierungen unter Verwendung eines herkömmlichen Propangasofens nicht gewährleistet wird. Ein Warmbeschlagen ist unter den praktischen Bedingungen des ambulanten Hufbeschlages kaum zu realisieren. (Abb. 6)

#### Richten der Hufeisen im kalten Zustand

In der SERIE A und in der SERIE B erfolgte das Richten und Anpassen der Hufeisen, sowie das Anbiegen einer Zehenrichtung an 5 fertiggestellten (Stifte oder Stollen) Vorderhufeisen und 5 Hinterhufeisen.

Material- und Gefügeveränderungen traten beim Richten und Anpassen der Hufeisen im kalten Zustand, wie auch beim Anbringen der Zehenrichtung, in den Hintergrund, so daß diesem Verfahren gegenüber der Warmbehandlung der Hufeisen der Vorzug gegeben werden muß.

#### Diskussion

Im Rahmen dieser Studie sollte eine im Hufbeschlag bisher unbekannte Werkstoffgruppe getestet werden. Dabei ging man von der Überlegung aus, die geringe Dichte und somit das Gewicht von partikelverstärkten Aluminiumlegierungen gegenüber Stahl und ihre höhere Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß im Vergleich zu Reinaluminium (Degischer et al., 1992) im Hufbeschlag von Reitpferden zu nützen. Dabei sollten aber die Möglichkeiten des individuellen orthopädischen Hufbeschlages gewahrt bleiben.

Bei der Herstellung von Hufeisen aus Aluminiummatrix-Verbundwerkstoffen stehen weder Literaturangaben noch sonstige Erfahrungen im Hufbeschlag mit diesen, bisher auch in technischen Bereichen noch selten eingesetzten Werkstoffen zur Verfügung. Die Schwierigkeit im Schmieden von Aluminium und seinen Legierungen ist vor allem in der Tatsache zu suchen, daß Al-MMC wie auch Al-Legierungen nur in einem sehr engen Temperaturbereich schmiedbar sind. Aluminium verändert beim Erwärmen im Gegensatz zu Stahl seine Farbe nicht (Butler, 1995). Aus diesem Grund wurden von einigen Autoren (Butler, 1995; Hickman und Humphrey, 1988) verschiedene Hinweise gegeben, den richtigen Temperaturbereich beim Schmieden von Aluminium ausfindig zu machen. Zwei dieser Methoden wurden ausgetestet und mit dem von uns entwickelten Verfahren zur Herstellung von Reitpferdebeschlügen verglichen.

Die beschriebenen Methoden zur Herstellung von handgeschmiedeten Aluminiumhufeisen (Butler, 1995; Hickman und Humphrey, 1988) eignen sich aufgrund der kaum zu objektivierbaren Temperatur beim Schmieden höchstens zur Anfertigung einer kleinen Menge von Hufeisen, wenn der Materialverlust keine Rolle spielt. In unserer Arbeit wurde jedoch die Herstellung einer Anzahl von zunächst über 200 Hufeisen angestrebt. Um diese Hufeisen im Reitsport vergleichbar mit derzeit gängigen Stahlhufeisen einsetzen zu können, mußten Fertigungsfehler und qualitative Mängel bei der Herstellung ausgeschlossen werden. Bereits die ersten

Schmiederversuche zeigten auf, daß die Entstehung von Gefügeveränderungen am Material in engem Zusammenhang mit der Temperatur des Schmiedegutes bei der Bearbeitung stand. Literaturangaben über die Temperaturbereiche beim Schmieden konnten auch in der technischen Literatur weder für Reinaluminium, noch für Aluminiumverbundwerkstoffe gefunden werden. Einzig der Schmelzpunkt war angegeben worden (Hickman und Humphrey, 1988; Kammer, 1995).

Zunächst mußte ein Ofen entwickelt werden, der ein regelmäßiges, kontrolliertes Erhitzen des eingebrachten Materials garantierte. Auch dazu waren weder Literaturangaben, noch Erfahrungswerte anderer Schmiede vorhanden. Mit dem zunächst verwendeten, regelbaren Gasschmiedeofen war ebenso wie im traditionellen Kohlefeuer ein gleichmäßiges Erhitzen des Materials nicht zu erreichen. Erst durch den Umbau dieses Ofens in einen kraftstrombetriebenen, mit einem Temperaturregler verbundenen Elektroofen konnte eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen garantiert werden. Die lange Erwärmungsdauer ist sicher negativ zu bewerten.



Abb. 7: Frisch beschlagene Vorderhufe - Serie B- partikelverstärkte Knetlegierung.

Horse, shoeing with particle reinforced foundry alloy renewed.

Die ersten Schmiederversuche machten jedoch klar, daß zur Herstellung fehlerfreier Hufeisen auch eine Temperaturbestimmung am Material selbst erforderlich war. Erst durch den angeschafften Temperaturfühler war eine Ermittlung der effektiven Schmiedetemperaturen möglich geworden. Außerdem konnte so eine Ofentemperatur erarbeitet werden, die ein gleichzeitiges, zügiges Erwärmen zweier Hufeisen ermöglichte. Die einzelnen Schritte zur Herstellung von gestempelten und gefalzten Hufeisen wurden zunächst im Hinblick auf das Verhalten der verwendeten Legierungen beim Schmieden erprobt und Temperaturbereiche festgelegt, die eine Herstellung von qualitativ hochwertigen Hufeisen ermöglichten. Ein Einhalten der Schmiedetemperaturen im Bereich zwischen 350°C (untere Temperaturgrenze) und 450°C



(obere Temperaturgrenze) ermöglichte schließlich die Herstellung von etwa 220 Stück Hufeisen beider Legierungen. Das Beschlagen von toten Hufen (Abb. 7) diente in erster Linie zur Evaluierung der Möglichkeiten des Richtens und Anpassens der Hufeisen an den Huf, wie auch dem Anbringen einer Zehenrichtung unter den praktischen Verhältnissen eines fahrenden Hufschmiedes. Der Warmbeschlag der Aluminiumlegierungen unter Verwendung eines im Hufschmiedegewerbe üblichen Gasschmiedeofens war trotz Verwendung des Temperaturfühlers eine unsichere Methode in Bezug auf die Vermeidung von Gefügeveränderungen beim Richten der Hufeisen. Das Kaltrichten der teilchenverstärkten Aluminiumhufeisen setzte sich gegenüber dem Erwärmen des Materials in beiden Serien durch.

## Literatur

- Anich, J. (1996): Der Hufbeschlag mit partikelverstärktem Aluminium. Diss. Vet. Med. Univ. Wien
- Brunhuber, E. (1988): Gießereilexikon. 14. Aufl., Schiele & Schön GMBH, Berlin, 199, 276.
- Butler, D. (1995): The principles of horseshoeing II. 2nd ed., 5th printing, Butler Publishing, La Porte- CO, 153-213, 213-265, 287-295, 311-329, 345-365, 421-455.
- Degischer, H.P., Kaufmann, H., Leitner, H. (1992): Strangpressprofile, Schmiede- und Gußteile aus keramikteilchenverstärktem Aluminium. Sonderdruck aus VDI Berichte, 965.1, 179/88.
- Dollar, A.W., Wheatley, A. (1898): Horse - Shoeing. David Douglas, Edinburgh, 129-146.
- Duralcan (1990): Composite casting guidelines, San Diego, 1990
- Fischer, U. (1933): Der Fuß des Pferdes. 14. Aufl., M.&H. Schaper, Hannover, 185-187.
- Habacher, F. (1941): Der Huf- und Klauenbeschlag. 7. Aufl., Urban und Schwarzenberg, Wien, 5-7, 31-69, 72, 78, 86-102.
- Habacher, F. (1948): Der Huf- und Klauenbeschlag. 8. Aufl., Urban und Schwarzenberg, Wien, 2-11, 43-62, 69-106.
- Hertsch, B. (1995): Alternativen zum Hufbeschlag. 4. Hufbeschlagstagung für Hufschmiede, Tierärzte, Trainer und Ausbilder, Karlsruhe, nicht paginiert.

- Hickman, J. (1977): Farriery. J.A. Allen, London, 104-106.
- Hickman, J., Humphrey, M. (1988): Hickman's Farriery. 2nd ed., J.A. Allen, London, 1-17, 56-71, 72-73, 117-124, 138-153, 162-171, 183-190.
- Hufnagel, W. (1988): Aluminium-Taschenbuch. 3. Aufl., Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 1-21, 31-56, 550-563, 867-970, 999-1011.
- Kammer, C. (1995): Aluminium-Taschenbuch. Band 1, 15. Aufl., Hrsg.: Aluminium-Zentrale Düsseldorf; Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 2, 51-127, 7, 273-319.
- Pfeffel, M., Lacom, W., Merstallinger, A., Kretz, R., Stanek, Ch., Anich, J. (1996): Mechanical properties and surface performance of Aluminium-based materials. Seibersdorf Report OEFZS - A - 3873.
- Ruthe, H. (1978): Der Huf. Fischer, 3. Aufl., Stuttgart, 61-65.
- Springhall, J.A. (1964): Elements of horseshoeing. University of Queensland Press, Brisbane, Queensland. 12-17.

Die vorliegende Studie wurde vom Fonds zur Förderung der gewerblichen Forschung FFF mit dem Projekt ZI. 6/828/4224 im Rahmen der Aktion COST 506/II „Industrial application of light alloys“ unterstützt.

Dr. med. vet. Johannes Anich, geprüfter Hufschmied;  
Prof. Dr. Christian Stanek,  
Dr. Christine Hinterhofer

Universitätsklinik für Orthopädie bei Huf- und Klauentieren,  
Veterinärmedizinische Universität Wien,  
Veterinärplatz, 1  
A-1210 Wien,

Tel. 0043 1 25077 / 5500,  
Fax 0043 1 25077 / 5590

Dr. Dipl. Ing. Richard Kretz

Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen  
PF 26  
A-5282 Ranshofen  
Tel.: 0043 7722 / 80 12 186  
Fax 0043 7722 / 64 393

## Literaturreferate

# Thermoregulation kranker Fohlen innerhalb der ersten Lebenswoche

## Thermoregulation in sick foals aged less than one week

J.C. Ousey, A.J. McArthur und P.D. Rosedale (1997)

Equine Vet.J. 153, 185-196

Stoffwechselforgänge und Temperaturregulation beim neugeborenen Fohlen wurden häufig untersucht, um das Management der Tiere zu verbessern und die neonatale Mortalitätsrate zu senken. Neben der Neugeborenenasphyxie und dem Maladaptationsyndrom treten beim neugeborenen Fohlen auch Probleme auf, welche durch eine prä- und postnatale Unterversorgung mit Nähr-

stoffen oder unzureichenden Haltungsbedingungen entstehen. Gerade im Zuge von Schweregeburten, Kaiserschnitten, pränatalen Erkrankungen der Mutterstute oder Frühgeburten kommen die Fohlen deutlich geschwächt zur Welt und haben nur geringe Überlebenschancen. Mit der Intensivierung der Fohlenmedizin stieg in den letzten Jahren jedoch die Überlebensrate der neugeborenen Fohlen deutlich an.

In dieser Studie werden Stoffwechselforgänge, Körpertemperatur und Respirationsquotient (RQ) von 16 kranken, 1-182 Tage alten Fohlen untersucht. Die Autoren teilen die Patienten in 3 Gruppen ein: prämaturre (n=5) bzw. dysmaturre (n=3) Fohlen, sowie Fohlen, die am Maladaptationsyndrom leiden (n=8). Sie ermitteln außerdem das Gestationsstadium und das Geburtsgewicht der Fohlen, die durchgeführten Behandlungsmaßnahmen und den Erkrankungsverlauf der 16 neonatalen Patienten.

Die durchschnittliche Metabolisierungsrate prämaturer Fohlen beträgt 71 W/m<sup>2</sup> und liegt somit deutlich unter der Stoffwechselrate der anderen beiden Patientengruppen. Das Geburtsgewicht der