

# Sportschuheinlagenversorgung – State of the Art –

Orthotic insoles for sports shoes

H. LOHRER

**Schlüsselwörter:** Orthopädische Sportschuheinlagen, laufinduzierte Sportschäden, Therapie

**Keywords:** Orthotic insoles, shoe inserts, foot injuries, running injuries, overuse sport injuries, therapy

**Zusammenfassung:** In der täglichen sportorthopädischen Praxis spielt die Einlagenversorgung zur Behandlung von sportassoziiert auftretenden Schmerzbildern eine wesentliche Rolle. Im Gegensatz dazu sind wissenschaftliche Belege der Wirksamkeit der Sportschuheinlagenversorgung nach den Grundsätzen der Evidenzbasierten Medizin bisher nicht publiziert. Experimentelle Untersuchungen beschäftigen sich vorwiegend mit Dämpfungseigenschaften verschiedener Materialien. Im Sport sollte diese Funktion jedoch durch den

Schuh übernommen werden, um das Volumen der Einlage nicht unnötig zu erhöhen.

Die klassische Theorie, die der Einlage eine rein mechanische skelettär aufrichtende Funktion unterstellt, kann auf Grund fehlender biomechanischer Absicherung nicht länger aufrecht erhalten werden. Die Wirkweise der Sportschuheinlage wird heute dadurch erklärt, daß sie als mechanischer Stimulus eine propriozeptive vermittelte, aktiv muskuläre Reaktion im Rahmen eines funktionellen Regelkreises induziert.

Bei dem derzeitigen Kostendruck im Gesundheitswesen sind daher für die Zukunft vor allem randomisierte klinische Studien zu fordern, die den Wert dieses Hilfsmittels der ersten Wahl zur Behandlung von Sportschäden der unteren Extremität belegen. Nur so kann die

Kostenübernahme durch die Krankenversicherungen langfristig gesichert werden.

**Summary:** In daily practice, treatment of most running induced injuries requires specific orthotic insoles. However, scientific clinical data supporting this procedure are rare. Most biomechanically based experiments deal with the shock absorption behavior of different materials. In sports appropriate cushioning should be effected by the sport shoe. Nowadays skeletal alignment through insoles is being critically discussed due to controversial biomechanical data. Present concepts are cybernetically based. Proprioceptive stimulus and the resulting active muscular regulatory control is being increasingly debated. Further clinical and biomechanical investigations are strongly recommended.

## Einführung

Seit mehreren Jahrzehnten werden Sportschuheinlagen eingesetzt, um das Konfektionsprodukt Sportschuh an die individuell variable statische und dynamische Form des Fußes anzupassen. Die Sportschuheinlagenversorgung soll deshalb einerseits einen möglichst optimalen Formschluß zwischen Fuß und Schuh herstellen, um eine maximale Kraftübertragung zwischen dem Fuß des Sportlers und dem Boden zu ermöglichen (Prinzip

der Leistungsmaximierung). Andererseits soll sie bereits eingetretene Gesundheitsschäden (sog. Sportschäden) heilen (Prinzip der Therapie) und eine frühe Wiederbelastbarkeit sichern. Die Sportschuheinlage soll daneben Sportschäden verhindern, die auf Grund spezifischer anatomischer Konstellationen des Athleten oder in Abhängigkeit von speziellen Belastungsverhältnissen zu erwarten sind, um damit eine langfristige, problemfreie Belastbarkeit im Training zu sichern (Prinzip der Prävention).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, einen Überblick über den derzeitigen Stand des Wissens bezüglich der Sportschuheinlagenversorgung beim Läufer zu geben und Tendenzen für zukünftige Entwicklungen aufzuzeigen.

## Epidemiologie

GELLMAN und BURNS (1996) geben an, daß in den Vereinigten Staaten 30 Millionen Menschen laufsportlich aktiv sind und 10 Millionen regelmäßig trainieren. RUDZKI (1997) fand bei Rekruten eine Verletzungsinzidenz von 46,6 % oder 52,9/100 Rekruten oder 14,9 Verletzungen pro 1000 Stunden Training. 80 % der Verletzungen betrafen dabei die untere Extremität. In einer eigenen Untersuchung gaben 47 % der Kaderathleten des Deutschen Leichtathletikverbandes an, im Verlauf von drei Jahren mindestens einmal wegen laufassoziiert aufgetretener Beschwerdebilder behandelt worden zu sein. 23 % dieser Sportler waren mit Sportschuheinlagen versorgt (LOHRER et al., 1999). Auch wenn diese Zahlen nicht ohne weiteres übertragen werden können, wird klar, daß der Bedarf und damit der Markt für Sportschuheinlagen, allein für den Laufbereich als immens angesehen werden muß.

YEUNG und YEUNG (2001) stellen jedoch fest, daß die Effizienz der Einlagenversorgung zur Prävention laufinduzierter Schäden des Stütz- und Bewegungsapparates nach streng wissenschaftlichen Kriterien nicht gesichert ist.

Bereits 1978 haben JAMES et al. vor allem Tendopathien, Insertionstendopathien und Streßfrakturen der unteren Extremität bezüglich ihrer Entstehung und Unterhaltung in einen Zusammenhang mit einem regelmäßig betriebenen Lauftraining gebracht. Daran hat sich bis heute grundsätzlich nichts

verändert (LOHRER et al., 1999, Tab. 1).

BUSSEUIL et al. (1998) geben an, daß Läufer mit Sportverletzungen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mehr statische und dynamische Pronation aufweisen. WILLIAMS et al. (2001) dagegen fanden bei Läufern mit hochgesprengten Füßen eine höhere Inzidenz von Sprunggelenk- und knöchernen Verletzungen. Senkfüßige Athleten dagegen hatten mehr Knie- und Weichteilschäden, besonders medialeseitig.

Bei praktisch allen laufinduzierten Sportschäden der unteren Extremitäten stellt die Sportschuheinlagenversorgung das therapeutische Mittel der ersten Wahl dar, nachdem eine optimierte Sportschuhversorgung festgestellt wurde (Tab. 2). Eine Übertherapie mit Einlagen ist möglich und sollte dazu führen, die Diagnose zu überarbeiten.

**Krankheitsbilder**

*Das Patellaspitzenyndrom*

Beim Patellaspitzenyndrom handelt es sich um eine Insertionstendopathie des Ligamentum patellae am patellaren Ursprung. Diese wohl häufigste Insertionstendopathie betrifft vor allem Ballsportarten mit Sprungbelastungen (Volleyball und Basketball) sowie die Sprungdisziplinen der Leichtathletik, aber auch Mittel- und Langstreckler. Im eigenen, sportspezifischen Kollektiv (Sportmedizinisches Institut Frankfurt/Main) findet sich diese Diagnose bei 7,4 % der Patienten insgesamt, bei Volley- und Basketballern steigt die Inzidenz jedoch bis zu 50 %. JAMES et al. (1978) geben die Häufigkeit des Patellaspitzenyndroms beim Läufer mit 2,2 % an.

Degenerative Veränderungen und rezidivierende Mikrorupturen sind die entscheidenden Voraussetzungen, die das Auftreten dieses Sportschadens ermöglichen (JOSZA und KANNUS, 1997). Von biomechanischer Seite wird eine Assoziation zu einer vermehrten rotatorischen Beanspruchung des Kniegelenkes mit vermehrter tibialer Innenrotation angenommen, die ihrerseits wiederum durch eine vermehrte pronatorische Beanspruchung des Fußes zustande kommt (NIGG et al., 2001).

Patellaspitzenyndrom, Chondropathia patellae	74 (36,5 %)
Achillodynie	58 (28,6 %)
Streßfrakturen	34 (16,7 %)
Tibiakantensyndrom	25 (12,3 %)
Traktusscheuersyndrom	7 (3,4 %)
Fasciitis plantaris	5 (2,5 %)

Tab. 1 Häufigkeit der Diagnosen bei 203 laufassoziierten Sportschäden (18 % aller Patienten in der eigenen sportorthopädischen Sprechstunde)

Phase 1	a) Belastungsreduktion oder/und Belastungspause (wenn Belastungsschmerz besteht) oder/und Belastungsmodifikation (z. B. Aquajogging, Rad, Kraft); Prinzip: Alles, was keinen Belastungs- und Nachbelastungsschmerz induziert, ist erlaubt. b) Kryobehandlung nach Belastung (Kryopack), Wärmebehandlung vor Belastung (Thermopack), Rotlicht
Phase 2	– Phase 1 + zusätzlich Sportschuheinlagen KG (funkt. Beinachsenstabilisation) – Elektrotherapie – Ultraschall
Phase 3	– Phase 1 + Extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT)
Phase 4	– Phase 1 + Injektionen
Phase 5	– OP (frühestens nach 6 Monaten) oder bei drohendem Zusatzschaden (z. B. Fraktur)

Tab. 2 Therapieschema bei sportinduzierten Überlastungsschäden

Dabei wird durch eine vermehrte Pronation des Fußes – im Rahmen abgeschwächter, muskulärer Stabilisierung der Fußlängswölbung in der Stützphase – eine Innenrotation der Tibia induziert (Bewegungsübertragung). So wird der distale Ansatz des Ligamentum Patellae nach medial wegrotiert, wobei vermehrte Zugspannungen im Sinn der Scherkräfteentwicklung an der Patellaspitze auftreten. Häufig oder fast regelmäßig finden wir diese Erkrankung assoziiert mit Veränderungen der retropatellaren Knorpelüberzüge (Knorpelschäden) sowie mit Hypermobilitäten der Patella, die ihrerseits wiederum zu einem gestörten Gleitverhalten im Femoropatellargelenk Anlaß geben. Die Erkrankung ist als „Springerknie“ (englisch: Jumper’s knee) in die Literatur eingegangen (BLAZINA et al. 1973).

In der konservativen Therapie dominieren die Sportschuheinlagenversorgung mit Betonung der medialen Stütze sowie hyperämisie-

rende physikalische und krankengymnastische Maßnahmen zum Ausgleich der häufig vorhandenen Strecker-/Beugermuskeldysbalance und die funktionelle Beinachsenstabilisation (HEUCHEMER et al., 1999). Vor dem Training sind Frikationsmassage und/oder hyperämisierende Salben zu empfehlen. Nach der Trainingsbelastung sollte dagegen der Reizzustand durch Applikation von Kälte heruntergeregelt werden. Eine moderne Behandlungsoption ist – wie bei anderen Sehnenschäden auch – die niederenergetische, radiale extrakorporale Stoßwellentherapie (LOHRER und SCHÖLL, 2001). Bei Versagen gegenüber einer konservativen Therapie kommt eine operative Behandlung durch Einkerbung des Patella-sehnenursprungs und Entfernung eventuell vorhandener degenerativer Einlagerungen im Zentrum des Ligamentum patellae-Ursprungs in Betracht. COOK und KAHN (2001) finden in einer Literaturübersicht,

daß nach den vorliegenden Untersuchungen keine der geprüften Behandlungsvarianten, inklusive der operativen Therapie, empfohlen werden kann. Studien zum Wert der Sportschuheinlagenversorgung beim Patellaspitzenyndrom wurden dabei nicht gefunden.

### *Das Tractus iliotibialis-Scheuersyndrom und das Popliteussehnenyndrom*

Die beiden Tendopathien sind an der lateralen bzw. posterolateralen Knieeseite lokalisiert. Ursache ist zum einen eine schmerzhafte Sehnenreizung im Ansatzbereich der Sehne des Musculus popliteus, die, von der proximal dorsalen Tibiametaphyse ausgehend, die laterale Meniskusbasis durchzieht, das knieaußenseitige Kollateralband unterkreuzt und unmittelbar davor am lateralen Femurkondylus ansetzt. Da dem Muskel eine intensive rotationsstabilisierende Rolle in der dynamischen Belastung (Stützphase) zufällt, ist die rotationsassoziierte biomechanische Induktion des Überlastungsschadens verständlich.

Ähnlich sind die Zusammenhänge beim Tractus iliotibialis-Scheuersyndrom, welches dadurch verursacht wird, daß der distale Anteil des Tractus iliotibialis über dem lateralen Femurkondylus scheuert, wenn er in der strecknahen Situation (ca. 20°) vom Strecker zum Beuger des Kniegelenkes wird. JAMES et al. (1978) geben die Häufigkeit des Tractus iliotibialis-Scheuersyndrom beim Läufer mit 4,7 % an.

Pathologisch anatomisch kann sowohl beim Popliteussehnenyndrom als auch beim Tractus iliotibialis-Scheuersyndrom neben einer Degeneration der Sehne eine verdickte Bursa Anlaß der schmerzhaften Reizung sein. Beide laufinduzierten Sportschäden finden wir vor allem im Zusammenhang mit Hüftrotationsfehlern, bei komplexen Rotationsanomalien der unteren Extremitäten, bei unkontrollierten und unvorbereiteten Bergabläufen sowie beim Training am Strand (besonders bei weichem Sand).

Die Behandlung erfolgt zunächst durch passagere Belastungsreduktion. Daneben sind biomechanisch orientierte Sportschuheinlagenversorgung und krankengymnastische

Maßnahmen zum Ausgleich der vermuteten rotatorischen Dekompensation zunächst indiziert. Injektionen sind besonders dann sinnvoll, wenn das Schmerzbild durch eine Bursitis lokal verursacht wird. Nur in ganz seltenen Fällen kann eine operative Intervention beim Tractus iliotibialis-Scheuersyndrom (Tractusspaltung) notwendig werden.

### *Streßfrakturen*

Streßfrakturen oder Ermüdungsbrüche haben sich zu einem der häufigsten Sportschäden bei Läufern entwickelt (BRODY und DAVID, 1986). Die Rolle der muskulären Ermüdung (Übertraining, Ende einer langen oder intensiven Belastung) und lauftechnische Auffälligkeiten (höhere vertikale Bodenreaktionskräfte) bei Sportlern mit Streßfrakturen sind gesichert (GRIMSTON et al., 1991). Betroffen sind nahezu ausschließlich die Knochen der unteren Extremität. Streßfrakturen äußern sich durch dumpfe Schmerzen im Stützapparat bei hochbeschleunigten Bewegungen, wie Laufen oder Springen.

Klinisch ergeben sich eng umschriebene, druckempfindliche Stellen im Skelettsystem, die initial häufig im Röntgenbild nicht auffällig sind. In späteren Stadien sind auf der Röntgenaufnahme oft Fissuren erkennbar, die Ähnlichkeiten mit Bruchspalten haben. Die Skelettszintigraphie und die Kernspintomographie sind in ihrer diagnostischen Treffsicherheit (Sensitivität) der konventionellen Röntgenuntersuchung weit überlegen.

MILGROM et al. (2000) haben in einer prospektiven epidemiologischen Studie an Rekruten den Wert einer langfristigen Vorbereitung zur Vermeidung der tibialen Streßfraktur nachgewiesen. Die Streßfrakturinzidenz an der Tibia konnte durch ein zuvor mindestens zwei Jahre regelmäßig betriebenes Basketballtraining um knapp  $\frac{3}{4}$  reduziert werden. Orthopädieschuhtechnisch kann versucht werden, durch eine Belastungsumverteilung Belastungsspitzen im Verletzungsareal zu reduzieren. Dabei steht die gezielte Sportschuheinlagenversorgung mit Stützung der medialen Längswölbung im Vordergrund (LOHRER et al.,

1990). Streßfrakturen heilen meist nach Reduzierung bzw. Absetzung oder Umleitung der hochbeschleunigten Belastung von alleine aus. Auf der Röntgenaufnahme sieht man dann wie bei traumatischen Brüchen Verdickungen durch Kallusbildung. Heilt die Streßfraktur nicht ab, kann durch Anbohren durch den Bruchspalt und/oder mittels Osteosynthese die Frakturheilung angeregt werden. Für das Auftreten von Streßfrakturen gibt es offensichtlich Prädispositionen, die im einzelnen bis heute noch nicht endgültig erforscht sind.

### *Tibiakantensyndrom*

Bei Sportarten, die mit einer hohen läuferischen Belastung, besonders auf Kunststoffbahnen, einhergehen (Sprint, Mittel- und Langstrecke sowie Sprungdisziplinen der Leichtathletik), findet sich eine hohe Inzidenz von Tibiakantensyndromen. In der eigenen Sprechstunde treten sie in 2,5 % der Fälle auf.

In der Literatur wird als Ursache dieses Sportschadens zum einen die Möglichkeit einer insertionstendopathischen Reaktion der Muskelursprünge (*M. tibialis posterior* und *M. flexor hallucis longus*), zum anderen die Möglichkeit eines belastungsinduzierten, chronischen Kompartmentsyndroms des tiefen medialen Unterschenkelkompartments oder aber die Möglichkeit einer chronischen Streßreaktion/Streßfraktur der Tibia diskutiert (LOHRER, 2002). Die betroffenen Athleten empfinden einen diffusen, nicht umschriebenen Schmerz an der Innenseite des betroffenen Unterschenkels besonders bei Vorfußbelastung (Sprint). Dieser Schmerz kann in frühen Phasen nach der Aufwärmung wieder verschwinden. Später nimmt er bei sportlicher Belastung zu und kann zum Belastungsabbruch zwingen.

Diagnostisch steht die klinische Untersuchung, die einen Druckschmerz entlang der dorsomedialen Tibiakante aufweist, ganz im Vordergrund. Typisch für diesen Sportschaden ist, daß bildgebende Verfahren unauffällige Befunde zeigen. Allenfalls die invasive intrakompartimentale Druckmessung während und nach der Belastung kann die Diagnose objektiv sichern (Abb. 1).

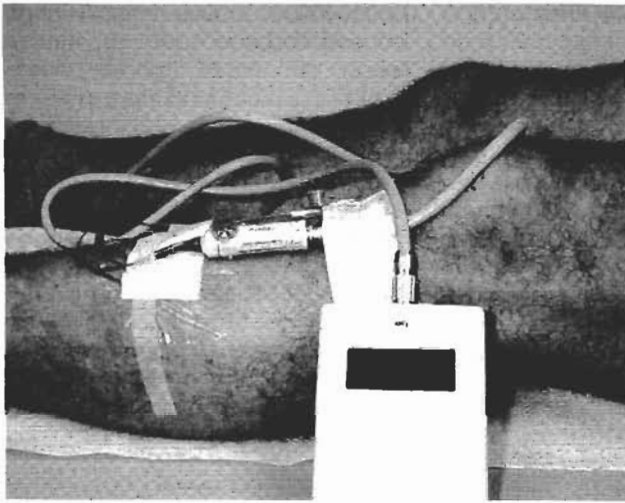


Abb. 1 Messung des Druckes in der Tib. anterior-Loge zur Diagnostik des funktionellen Kompartmentsyndroms mit einer Spezialsonde

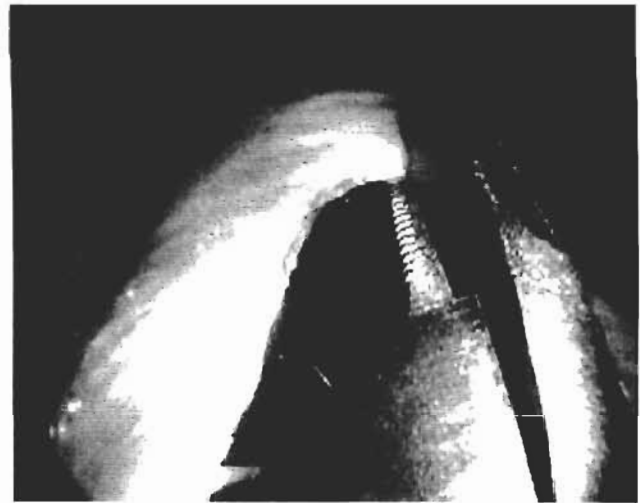


Abb. 2 Neue, endoskopisch assistierte, minimalinvasive Technik zur Spaltung der Muskelfaszie beim funktionellen Kompartmentsyndrom

Obwohl wissenschaftliche Belege zum Wert der konservativen Therapie fehlen, wird dennoch allgemein empfohlen, die Behandlung konservativ und mit einer Belastungsmodifikation oder Belastungspause zu beginnen (WILEY et al., 1987). Intensität und Volumen der Laufbelastung müssen zugunsten eines kompensatorischen Trainings (Radfahren oder Aqua Jogging) reduziert werden. Für die läuferische Beanspruchung muß die Schmerzgrenze respektiert werden. Wichtig ist auch ein Wechsel des Trainingsuntergrundes (weiche Böden statt Asphalt und Kunststoff) und der Trainingschuhe (Joggingschuhe statt Spikes). Eine gezielte Sportschuheinlagenversorgung ist in jedem Fall sinnvoll (LOHRER, 1989).

Aufgrund ätiologischer Überlegungen sollten in der Therapie anti-phlogistische (NSAR lokal oder systemisch, milde Wärme und nach Belastungen Kryotherapie, Elektrophysiotherapie, Lymphdrainagen) sowie Salbenverbände zur Nacht symptomatisch eingesetzt werden. Auch spezielle Tapebandagierungen des Unterschenkels haben sich in der praktischen Sportbetreuung in frühen Phasen bewährt. Die krankengymnastische Behandlung (funktionelle Beinachsenstabilisation) soll die Belastung der Muskulatur des tiefen medialen Unterschenkelkompartments reduzieren. Die intrakompartimentale Infiltration wäßriger Kortikosteroidlösungen (4–8 mg

Dexamethason) ist möglich und kann mehrfach wiederholt werden. Die operative Therapie ist indiziert, wenn konservative Behandlungsmaßnahmen über mehrere Monate versagen. Die Spaltung der Faszie des tiefen medialen Muskelkompartments am Unterschenkel kann heute, von einer kleinen Hautinzision ausgehend, endoskopisch assistiert erfolgen (Abb. 2).

#### *Achillodynie*

Die Achillodynie ist ein typischer Lauf- und Sprungbelastungsinduzierter Sportschaden. Pathologisch-anatomisch verstehen wir unter Achillodynie eine Kombination aus Paratendinose und Tendinose der Achillessehne. Diese Komponenten sind jeweils mehr oder weniger ausgeprägt (PUDDU et al., 1976). Der freie Verlauf der Sehne, meist 2–7 cm proximal ihrer calcanearen Insertion, ist betroffen. Die Achillodynie zeichnet sich durch einen belastungsabhängigen, lokalen Schmerz aus und geht immer mit einer Druckdolenz sowie meist mit einer Schwellung der Achillessehne einher. In der Literatur wird die Diagnose „Achillodynie“ meist nicht korrekt gebraucht und bei allen Schmerzen im Fersenbereich gestellt (LOHRER, 1991).

Nur selten sind endogene Ursachen (meist Hyperurikämie) ätiologisch beteiligt. Repetitive Mikrotraumatisierung und mangelhafte Regeneration der Sehne oder ent-

zündliche Veränderungen im Paratenon setzen den klinisch zunächst latenten Prozeß der Achillessehnedegeneration in Gang (JÓZSA und KANNUS, 1997). Anomalien der unteren Extremität und Vorschäden führen zu einer vermehrten Pronation in der Stützphase des Laufens, in deren Folge die Achillessehne einer vermehrten Torsionsbelastung ausgesetzt wird (SEGESSER und NIGG, 1980). Der Verlauf dieses Sportschadens ist phasenhaft. Er entwickelt sich typischerweise erst nach mehreren Jahren intensiver Trainings- und Wettkampfbelastung (LOHRER, 1996). Therapeutisch sind neben Belastungsmodifikationen und Belastungspausen Sportschuheinlagen (meist mit Detorsionsstütze), gelegentlich Infiltrationen und Physiotherapie inklusive krankengymnastischer Beinachsenstabilisation im Behandlungsplan. Die Radiale Extrakorporale Stoßwellentherapie scheint sich zu einer relevanten Behandlungsoption zu entwickeln (LOHRER et al., 2001). Therapieresistente Fälle werden operativ versorgt (LOHRER 2002).

#### *Fasciitis plantaris*

Die Fasciitis plantaris ist eine belastungsassoziiert auftretende Erkrankung, die auf der Grundlage einer chronisch degenerativen Veränderung der Ursprungsregion der Aponeurosis plantaris am Tuber calcanei, besonders medial, entsteht (LOHRER, 2002). Das Schadensbild

findet sich sowohl bei nicht oder nur wenig sporttreibenden Personen als auch beim Sportler und weist eine Assoziation zu Übergewichtigkeit auf. Eine Kombination des Krankheitsbildes mit einer knöchernen calcanearen Ausziehung („Fersensporn“) ist möglich, aber nicht notwendig. QUASCHNIK (1996) findet bei 10 % der laufinduzierten Beschwerden eine plantare Fasciitis.

Die grundsätzliche Behandlungsstrategie beinhaltet zunächst eine Reduktion der auslösenden Belastung, eine biomechanisch orientierte Einlagenversorgung sowie physiotherapeutische Behandlungsansätze. Anamnestisch kann beim Läufer meist ein Trainingsfehler erkannt und der Umfang und die Intensität des Trainings herabgesetzt werden. Die klassische orthopädischschuhtechnische Versorgung erfolgt durch eine so genannte Locheinlage mit einer zirkulären Stützung unter dem Schmerzpunkt. Diese hat sich im Sport nicht bewährt. Heute ist eine Freilegung und Weichpolsterung längsoval vorzunehmen. Gleichzeitig sollte die Stütze unter der medialen Wölbung betont werden. Für orthetische (Einlagen) und für Tapebandagierungen ist gegenüber der Behandlung mit systemischen nicht steroidal Antiphlogistika ein signifikant besseres Resultat nachgewiesen (LYNCH et al., 1998). Es sind auch Erfolge mit Nachtschienenlagerungen beschrieben (BATT et al., 1996). Lokale Injektionsbehandlung wird immer wieder befürwortet. Die oft empfohlenen Injektionen mit Kortisonkristallsuspensionen sind gefährlich, weil sie eine Ruptur der Fascia plantaris induzieren können. Gute Behandlungsergebnisse sind mit der extrakorporalen Stoßwellentherapie zu erzielen.

Für die operative Versorgung sind offene und endoskopische Techniken beschrieben. Dabei wird prinzipiell immer die ursprungsnahe Fascia plantaris transversal teilweise oder komplett eingekerbt. Ein gegebenenfalls röntgenologisch gesicherter Fersensporn wird abgetragen. Die Neurolyse des ersten Astes des N. plantaris lateralis kann bei den offenen Techniken fakultativ erfolgen.

## Fertigungstechnische Prinzipien

Vor allem beim Vergleich der publizierten Untersuchungen zur Sportschuheinlagenversorgung erscheint der Hinweis wichtig, daß im europäischen, deutschsprachigen Bereich die Sportschuheinlage ein handwerkliches, individuell gefertigtes und individuell angepaßtes Produkt darstellt, während in den USA ausschließlich industriell gefertigte Massenware zum Einsatz kommt. Die Ergebnisse der Studien zu dieser Thematik, die vorwiegend aus dem angloamerikanischen Raum stammen, sind deshalb nicht ohne weiteres auf die europäische Situation übertragbar.

## Konventionelle Sportschuheinlagen

Als prinzipielle Zielsetzung der Einlagenversorgung gibt GRIFKA (1997) den „Ausgleich einer veränderten Statik“ und die „Normalisierung einer veränderten Schritt-abwicklung“ an. Als Indikation für diese „klassische“ Einlagenversorgung sieht der Autor pathologische Fußformen an, deren Ursache häufig in einem neurophysiologischen Krankheitsbild liegen. Entsprechend

sollen diese Einlagen korrigieren, stützen, entlasten und/oder betten. Damit soll nach der klassischen Denkweise die Ausrichtung der Skelettelemente statisch und dynamisch normalisiert werden. Die klassischen 2/3-Einlagen wurden aus harten Materialien (Holz, Metall, Plexidur) hergestellt.

Eine weitere Indikation zur „klassischen“ Einlagenversorgung besteht bei erworbenen Schäden der Gelenke und Weichteile des Fußes und der unteren Extremität. Abrollhilfen, wie sie beispielsweise beim Hallux rigidus erforderlich sein können, müssen natürlich auch Bestandteil der Sportschuheinlage werden, wenn ein Patient mit einem pathologischen Fuß Sport treiben möchte. Im Gegensatz dazu (Tab. 3) sollen Sportschuheinlagen zum einen bei (noch) gesunden Sportlern verletzungs- und schadenspräventiv wirken und die sportliche Leistungsfähigkeit verbessern oder optimieren. Für diesen Einsatzbereich wird davon ausgegangen, daß bestimmte anatomische und funktionelle Prädispositionen, kombiniert mit spezieller sportlicher Belastung, mit hoher Wahrscheinlichkeit Sport-schäden induzieren. Andererseits

	SPORTSCHUHEINLAGE	KONVENTIONELLE EINLAGEN
<b>Material</b>	Kunststoff Preßkork Weichschaum	Leder Holz Metall Plexidur
<b>Länge</b>	1/1	2/3
<b>Gewicht</b>	gering	hoch
<b>Volumen</b>	gering	hoch
<b>Komfort</b>	wichtig	weniger wichtig
<b>Atmungsaktivität</b>	wichtig	weniger wichtig
<b>Rückstellkraft</b>		
<b>Oberfläche</b>	Textil, Alcantara	glatt
<b>Stabilität im Schuh</b>	wichtig	weniger wichtig
<b>Ausbildg. funkt. Elemente</b>	gering	betont
<b>Indikation</b>	- Prävention - Therapie funkt. Schädigungen	Therapie (morphol. Schäden)
<b>Funktion</b>	stützen (skeletal alignment) neuromuskul., reflektor. Stimulation (Propriozeption)	korrigieren stützen entlasten

Tab. 3 Die Sportschuheinlage und die konventionellen Einlagen im Vergleich

sind es spezifische, sportassoziiert auftretende Überlastungsbeschwerden der unteren Extremität, bei denen die Sportschuheinlagenversorgung das Mittel der ersten Wahl in der Therapie darstellt (LOHRER, 1996).

Im Sport sind die Fußformen grundsätzlich nicht pathologisch. Ein Hohlfuß, Knick-Senkfuß oder Plattfuß eignet sich nicht zur relevanten sportlichen Belastung. Im Sport finden wir jedoch Normvarianten, die als hochgesprengt oder senkfüßig bezeichnet werden. Bei Athleten mit hochgesprengten Füßen konnten mehr Sprunggelenk- und knöcherne Verletzungen (Streßfrakturen) nachgewiesen werden, während senkfüßige Sportler mehr Knie- und Weichteilverletzungen aufwiesen (WILLIAMS et al., 2001).

Die Funktion der Sportschuheinlage ergibt sich nicht aus statischen, sondern aus dynamischen Überlegungen. Eine Korrektur statisch auffälliger Achsanomalien und Formstörungen (grenzwertige Normvarianten) ist nicht anzustreben. Die Stützfunktion steht ganz im Vordergrund. Die stützenden Elemente sollen eine funktionelle Überbewegung (Überpronation in der Landungsphase, Übersupination im Abstoß) verhindern. Entlastende und bettende Elemente können dort eingearbeitet werden, wo Überlastungsreaktionen am Fuß manifest geworden oder zu erwarten sind, beispielsweise bei einer Streßfraktur eines Mittelfußknochens.

Auf Grund der Tatsache, daß die Sportschuheinlage ihre Funktion in der Dynamik, das heißt während der sportlichen (Lauf)bewegung entfalten soll, müssen ihre funktionellen Elemente im Vergleich zur konventionellen Einlage weniger ausgeprägt gearbeitet werden, um keine Druckstellen zu induzieren. Vor allem ist in diesem Zusammenhang vor einer starken Ausprägung der Quergewölbeabstützung zu warnen. Die klassischen, individuell aufzubauenden Elemente einer Sportschuheinlage sind zum einen die mediale Stütze, die beim Fersenläufer weit dorsal unter dem Sustentaculum tali anzubringen ist, um eine Überpronation zu verhindern. Der Übersupination in der Abstoßphase

des Laufes kann durch ein Detorsionselement unter dem Metatarsale V entgegengewirkt werden. Grundsätzlich ist dabei eine Versteifung des Materials oder ein Aufbau durch Erhöhung möglich (LOHRER, 1989). Eine durchgängige Außenranderhöhung, wie sie klassischerweise zur Behandlung der medialen Gonarthrose Anwendung findet, ist im Sport fragwürdig und allenfalls bei entsprechenden Patienten in einer Höhe bis maximal 3 mm zulässig, um zusätzliche, einlageninduzierte Schädigungen zu verhindern.

Die Sportschuheinlage muß langsohlig gefertigt werden, um sie sicher im Schuh zu stabilisieren und ein Verrutschen zu verhindern und um damit einen sicheren Kraftschluß zwischen Fuß und Schuh zu gewährleisten. Technisch hat es sich dabei bewährt, eine etwas härtere Fersen- und Mittelfußkonstruktion ( $2/3$ -Schale) mit einer weichen, langsohligigen Decke zu kombinieren (Abb. 3).

Für die Herstellung einer Sportschuheinlage sind Materialien zu wählen, die eine individuelle Nachbearbeitung zulassen. Für die Fer-

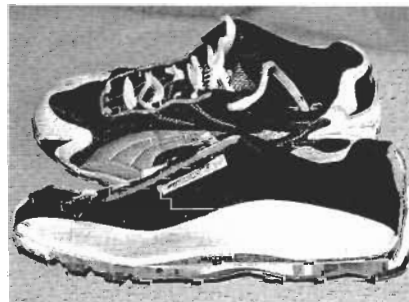


Abb. 3 Sportschuh, Fuß und Einlage (hier im Querschnitt) bilden eine funktionelle Einheit, die für den Effekt insgesamt verantwortlich ist

senschale hat sich dabei besonders flexibler Kork bewährt, der mit verschiedenen Kunststoffen zusammengepreßt eine ideale Konsistenz, eine hohe Formbeständigkeit und Rückstellkraft sowie eine hohe Hautfreundlichkeit und Atmungsaktivität bietet. Der langsohligige Überzug soll aus einem hoch flexiblen, rutschfesten und atmungsaktiven Material bestehen. Meist werden hierzu thermoplastische Weichschäume verwandt, die auch die hohe sportliche Belastung auf Dau-

er ohne Funktionsverlust tolerieren. Bei intensiver Schweißneigung sind textile, atmungsaktive Bezüge, beispielsweise aus Alcantara zu empfehlen. Leder hat sich als Material zur Sportschuheinlagenfertigung nicht bewährt. PRATT (1990) konnte relevante Unterschiede in der Qualität verschiedener Basismaterialien im Einlagentragetest im Verlauf über ein Jahr nachweisen.

Die Literaturanalyse zum Thema Sportschuheinlage zeigt eine Fülle von Publikationen zum Dämpfungsverhalten. Die Autoren haben dabei jedoch ausschließlich Fersenkissen aus verschiedenen viskoelastischen Materialien untersucht. Dabei finden die Autoren widersprüchliche Ergebnisse. Biomechanische, vergleichende Messungen konnten zwischen unterschiedlichen viskoelastischen Fersenkissen Unterschiede (WINDLE et al., 1999) als auch keine Unterschiede (NIGG et al., 1988) nachweisen. In epidemiologischen Studien wurde ein Effekt dieser viskoelastischen Fersenkissen nicht gezeigt (GARDNER et al., 1989). Nach einer systematischen Analyse soll jedoch ein präventiver Effekt bezüglich Streßfrakturen beziehungsweise Streßreaktionen vorliegen (GILLESPIE und GRANT, 2000).

Leider wird im angloamerikanischen Sprachraum der Begriff „insole“ für alle in den Schuh eingebrachten Elemente, die konfektionell hergestellt werden, verwandt. So kann zunächst nicht zwischen Fersenkissen, verschiedenen Paßteilen und Sohlen sowie Einlagen differenziert werden.

Die Dämpfung jedoch ist eine klassische Funktion des Sportschuhs, deren Nutzen durch neuere biomechanische Untersuchungen vermehrt in Frage gestellt wird (NIGG, 1997). Besonders aus Gründen der Volumenreduktion und der damit verbundenen Paßformoptimierung des Systems Schuh-Einlage-Fuß war die Dämpfung nie eine Funktion einer Sportschuheinlage. CLARK et al. (1989) haben bei einer Untersuchung zur Einlagenversorgung im Aerobicshuh auf diese Problematik hingewiesen.

Bei der Sportschuheinlagenversorgung besteht eine „Gewichtspro-

blematik“ in doppelter Hinsicht. Zum einen ist es das Gewicht der Einlage, welches einen wesentlichen Einfluß auf die sportliche Leistungsfähigkeit ausüben kann. Schwere Einlagen erreichen durchaus das Gewicht leichter Wettkampflaufschuhe. NIGG und SEGESSER (1992) konnten bei Laufschuhanalysen zeigen, daß pro 100 g Erhöhung der Masse des Laufschuhes bei 5–7 m/s Laufgeschwindigkeit etwa 1 % mehr Energie verbraucht wird. Bei höherer Laufgeschwindigkeit nimmt die energetische Mehrbelastung noch weiter zu (SEGESSER, 1999). Dies ist ein Faktor, der besonders im Leistungssport die Einlagenversorgung limitiert. Wie für den Läufer die Masse der Einlage erhebliche Bedeutung besitzt, so ist umgekehrt die Masse des Läufers für die Einlagenherstellung von wesentlichem Interesse. Elastizität, Widerstand und Rückstellkraft des Materials, aus dem die Einlagen hergestellt werden, müssen dem Körpergewicht des Sportlers angepaßt werden.

Komfort ist eine entscheidende Qualität einer Einlage. Der initiale Kontakt des Fußes mit einer neuen Einlage entscheidet darüber, ob der Sportler ein gutes oder schlechtes „Gefühl“ damit und im Vergleich zum Schuh ohne Einlage hat. Folglich ist Komfort ein wichtiges Verkaufsargument für ihren Hersteller. Daneben entscheidet der Komfort auch darüber, ob die Einlage regelmäßig benutzt wird und folglich überhaupt wirksam werden kann. Dem Prinzip Komfort sind deshalb herstellungstechnisch alle materialtechnischen Fragen sowie die Ausführung von Korrektur-, Stütz- und Führungselementen und von Bettungen und Entlastungen unterzuordnen.

Nur im Zusammenspiel mit einem optimalen Sportschuh kann eine Sportschuheinlage ihre Wirkung entfalten (Abb. 3). Deshalb ist zu fordern, daß die Fertigung einer Sportschuheinlage die Analyse des getragenen Sportschuhes einschließt. In vielen Fällen ist vor einer Einlagenversorgung die Anschaffung eines neuen Sportschuhes notwendig, um eine stabile Basis für die funktionelle Sportschuheinlage zu bieten.

Die Paßform des Gesamtsystems Sportschuheinlage plus Sportschuh

ist von besonderem Interesse, das heißt, die Sportschuheinlage ist immer hinsichtlich ihrer Funktionalität und hinsichtlich ihres Komforts im Zusammenhang mit dem jeweils zugehörigen Sportschuh zu beurteilen. Eine schlechte Einlage in einem guten Sportschuh ist ebenso unwirksam wie eine gute Einlage in einem schlechten Sportschuh. Auch diese Zusammenhänge sind bei der Beurteilung von Untersuchungen über Sportschuheinlagen zu berücksichtigen. ROBBINS und GOUW (1991) warnen in diesem Zusammenhang nach einer Untersuchung von Sportschuhen davor, daß zu weiche Polsterungen den Fuß dabei stören, potentiell schädigende Kräfte adäquat wahrzunehmen und geeignet zu beantworten („perceptual illusion“).

Ausgangspunkt einer jeden Sportschuheinlagenversorgung ist die klinische Untersuchung des Fußes. Übergeordnete funktionelle und anatomische Zusammenhänge sind zu berücksichtigen, beispielsweise Rotationsanomalien der unteren Extremitäten oder muskuläre Dysbalancen sowie Schäden und Verletzungsfolgen am gesamten Bein und der Lendenwirbelsäulen-Becken-Hüftregion. Dazu ist es unbedingt erforderlich, die Untersuchung am Athleten vorzunehmen, der bis zur Unterhose entkleidet ist.

Bei der Herstellung einer Sportschuheinlage sind sowohl statische als auch dynamische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Statisch bedeutet dabei, daß unter Belastung die dreidimensionale Form des zu versorgenden Fußes am besten mittels Trittschaum erfaßt wird. Alternativ dazu werden in jüngster Zeit 3D-Scanner eingesetzt, deren Daten direkt in eine Fräsmaschine zur Herstellung eines Einlagenrohlings übertragen werden können. Daneben muß eine Belastungsanalyse erfolgen, die konventionell mittels einer Trittspur im Stehen und/oder im Gehen durchgeführt wird. Als moderne Alternative kommen Druckmeßplatten und/oder Druckmeßsohlen zum Einsatz.

In orthopädieschuhtechnischen Betrieben mit Sportspezialisierung sind meist videogestützte Analysesysteme zusätzlich vorhanden. Zahl-

reiche Versuche wurden unternommen, mittels Winkelmessungen Daten zu produzieren, die wissenschaftlichen Ansprüchen genügen. Diese konnten den Nachweis bisher nicht erbringen, valide und reproduzierbare Werte zu liefern (GRAU et al., 2000). Dennoch ist die Methode geeignet, die Fertigung einer Sportschuheinlage zu optimieren, da sie zumindest eine grobe Analyse der Bewegung nahe der sportartspezifischen, funktionellen Geschwindigkeit auch in Zeitlupe zuläßt. Als konventionelle Alternative dazu ist die Untersuchung des getragenen Sportschuhes und der getragenen Sportschuheinlage in jedem Falle zu fordern, da sie eine Summation von hundertausenden Bewegungszyklen abbilden. Zu achten ist dabei besonders auf Lokalisation und Gleichmäßigkeit von Abrieb und Materialermüdung im Innenraum und an der Sohle.

In der Vergangenheit wurde der initiale Kraftstoß („impact peak“) beim Aufsetzen des Fußes eines Läufers als schädigend betrachtet (CAVANAGH und LAFORTUNE, 1980). Ein Zusammenhang zwischen hohen Impactkräften und dem Auftreten sportspezifischer Verletzungsbilder konnte aber nie gesichert werden (NIGG, 1997). Eine mechanisch nachweisbare Ausrichtung von Skelettanteilen konnte ebenso nicht gezeigt werden (STACOFF et al., 1999).

### Propriozeptive Einlagen

Erst in jüngster Zeit rücken Fragestellungen zur Propriozeption zunehmend in den Mittelpunkt der orthopädisch-biomechanischen Forschung (LEPHART und FU, 2000; GOLLHOFER et al., 2001). Ursache dafür war die Problematik, funktionelle Störungen am Stütz- und Bewegungsapparat mit rein mechanischen Modellen nicht ausreichend erklären zu können. Die dadurch entstehende Lücke im Erklärungsmodell zur Funktion der Sportschuheinlagen wurde von NIGG et al. (1997; 2001) durch die Einführung der „Muscle tuning theory“ geschlossen. Dabei wird davon ausgegangen, daß die beim Laufen in den Fuß eingeleiteten Kräfte (input sig-

nal) durch spezifische neurogene Rezeptoren wahrgenommen und reflektorisch aktiv, das heißt muskulär beantwortet werden. Art, Umfang und Größe dieser Antwort sollen individuell sein. Damit kann eine individuell optimierte Steuerung der Bewegung in Abhängigkeit von den (Stör-)Reizen Anatomie, Einlage, Schuh und Untergrund erfolgen. Eine gute Sportschuhleinlage wird dabei die zur optimierten Bewegungssteuerung erforderliche muskuläre Antwort verringern und so mehr Reserven in Richtung momentaner und/oder Dauerleistung (geringere Ermüdung) zulassen.

Bereits GOLLHOFER und KOMI (1987) haben darauf hingewiesen, daß die Härte des Zwischensohlenmaterials eines Sportschuhes durch Variation der muskulären Aktivität, also aktiv ausgeglichen wird. Die Autoren folgerten daraus, daß bestimmte Schuh- und Einlagenkonstruktionen das „man-shoe-surface“-Zusammenspiel optimieren um die externen Belastungen auf die Muskeln, Gelenke und Bänder so zu verteilen, daß Verletzungen verhindert und Leistungen verbessert werden können. Damit wird klar, daß für zukünftige Forschungen vor allem der Einsatz der Elektromyographie zu fordern ist, um das entscheidende und einzig aktive Stellglied (den Muskel) im Regelkreis zwischen Sensor und Effektor zu beurteilen.

Die Philosophie, die hinter der Herstellung und Verwendung propriozeptiver Einlagen steht, wurde durch die „funktionelle Myologie“ begründet (BOURDIOL, 2001). JAHRLING (1999) HEILI (2001) und EICH (2001) haben die Methode besonders im deutschen Sprachraum verbreitet.

Propriozeptive Einlagen sind heute außerhalb des Sportes und besonders bei neuromuskulären Krankheitsbildern bereits weit verbreitet. Ein objektiver Nachweis ihrer Wirkung fehlt (DÖDERLEIN et al., 2001). Das Volumen und die Härte der Elemente, die zur Erzeugung propriozeptiver Information bei cerebralen Bewegungsstörungen aufgebaut werden, machen ihre Verwendung im Sport von vornherein unmöglich.

Für den Einsatz im Sport geeignet erscheinen entsprechende Elemente, die mit wenig Volumen auskommen und ihren sensorisch erregenden Effekt dann ausüben, wenn der Fuß beim Laufen mit hoher Geschwindigkeit sich verformt. ROBBINS und GOUW haben 1992, vermutlich ohne es zu wissen, mit ihrer Untersuchung bereits wesentliche Informationen zum Verständnis der Wirkung propriozeptiver Einlagen geliefert. Alleine durch die Hinzunahme von 2 mm hohen Elementen auf einer harten Oberfläche unter dem Fuß konnte bei niedrigen plantaren Drücken die subjektiven Empfindungen relevant gesteigert werden.

Diese Beobachtung könnte die Wirkung von nur 2–3 mm hohen Stimulationselementen, die bei der Fertigung propriozeptiven Sportschuhleinlagen heute meist eingesetzt werden, erklären. Berichte zu positiven Ergebnissen dieses neuartigen Behandlungskonzeptes liegen bisher nur in anekdotischer Form vor und müssen durch kontrollierte Studien und experimentelle Meßdaten weiter abgesichert werden.

Darüber hinaus bleibt die Frage offen, ob nicht auch die Effizienz der klassischen Sportschuhleinlage zu großen Teilen propriozeptiv vermittelt ist. So scheint eine strikte Trennung des konventionellen Konzeptes der Sportschuhleinlagenwirkung („skeletal alignment theory“) von der Hypothese einer propriozeptiv vermittelten Funktion der Sportschuhleinlagen nicht sinnvoll.

### Untersuchungsmethoden

#### Klinische Evaluation

Entsprechend der Struktur ihrer Wölbungen, werden verschiedene Fußformen unterschieden. Die Absenkung der Querwölbung des Fußes wird als Spreizfuß bezeichnet und läßt sich eindeutig mittels Trittspur statisch und dynamisch identifizieren. Diese Fußformvariante ist auch im Sport oft zu finden und kommt mit zunehmendem Alter häufiger vor. Auch die konsekutive Entwicklung eines Hallux valgus ist im Sport oft zu finden, beeinträchtigt

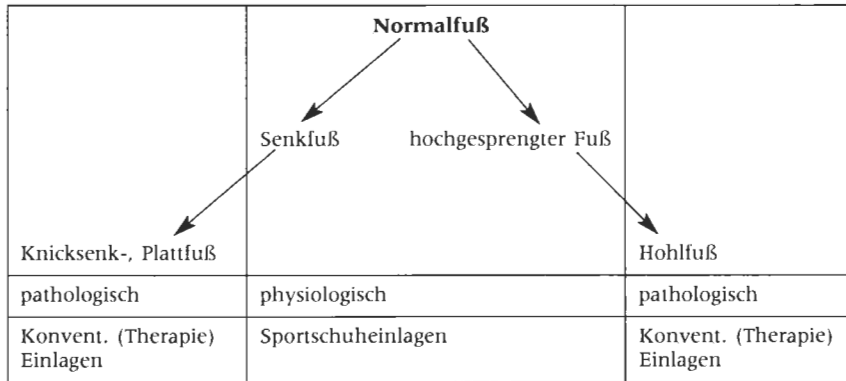
die sportliche Belastbarkeit jedoch erst spät.

Ausgehend von einer physiologischen Längswölbung des Fußes können Abflachungen und Überhöhen abgegrenzt werden (GRIFKA 1997). Die Übergänge zwischen den verschiedenen Fußformen sind fließend. Die Grenzen physiologischer und die Anfänge pathologischer Füße sind nicht scharf definiert. Ihre Einteilung bleibt im Alltag der klinischen Erfahrung des jeweiligen Untersuchers überlassen, der visuell, manuell oder mittels verschiedener Druckmeßverfahren (beispielsweise Trittspur oder Kraftmeßsohle) seine Beurteilung vornimmt. Für biomechanische Analysen sind verschiedene Indizes, die meist die Fußlänge und die Höhe der Längswölbung beinhalten, zu empfehlen, da sie objektivere und reproduzierbarere Daten liefern (MILLER et al., 2000).

Beim Sportler ist die Feststellung wichtig, daß Formvarianten und nicht pathologische Fußformen vorliegen (Tab. 4). In diesem Sinne sollte beim Sportler nicht von Hohl- oder Knick-Senkfuß bzw. Plattfuß gesprochen werden. Diese Begriffe sind pathologischen Fußformen vorbehalten, ihre Träger sind Patienten, die allenfalls therapeutische sportliche Aktivitäten ausüben und meist eine zugrunde liegende neurologische Störung aufweisen. Sportlerfüße dagegen sind grundsätzlich noch im physiologischen Bereich. Sie sind strukturell als normal zu bezeichnen (Abb. 4a–c). Lediglich in funktioneller Hinsicht können ihnen Pathologien unterstellt werden, ohne daß diese jemals eindeutig bewiesen werden konnten. Vergleichsweise höhere Längswölbungen sind als hochgesprengte Fußform, flachere Füße sind als senkfüßige Varianten zu bezeichnen. Hochgesprengte und Senkfüße sind aktiv und passiv vollständig korrigierbar. Die Übergänge zwischen den verschiedenen Fußformen sind fließend.

Bei Läufern soll ein Zusammenhang zwischen der Längswölbungshöhe und dem Auftreten spezieller sportinduzierter Schädigungsmuster bestehen (WILLIAMS et al., 2001; BUSSEUIL, 1998).



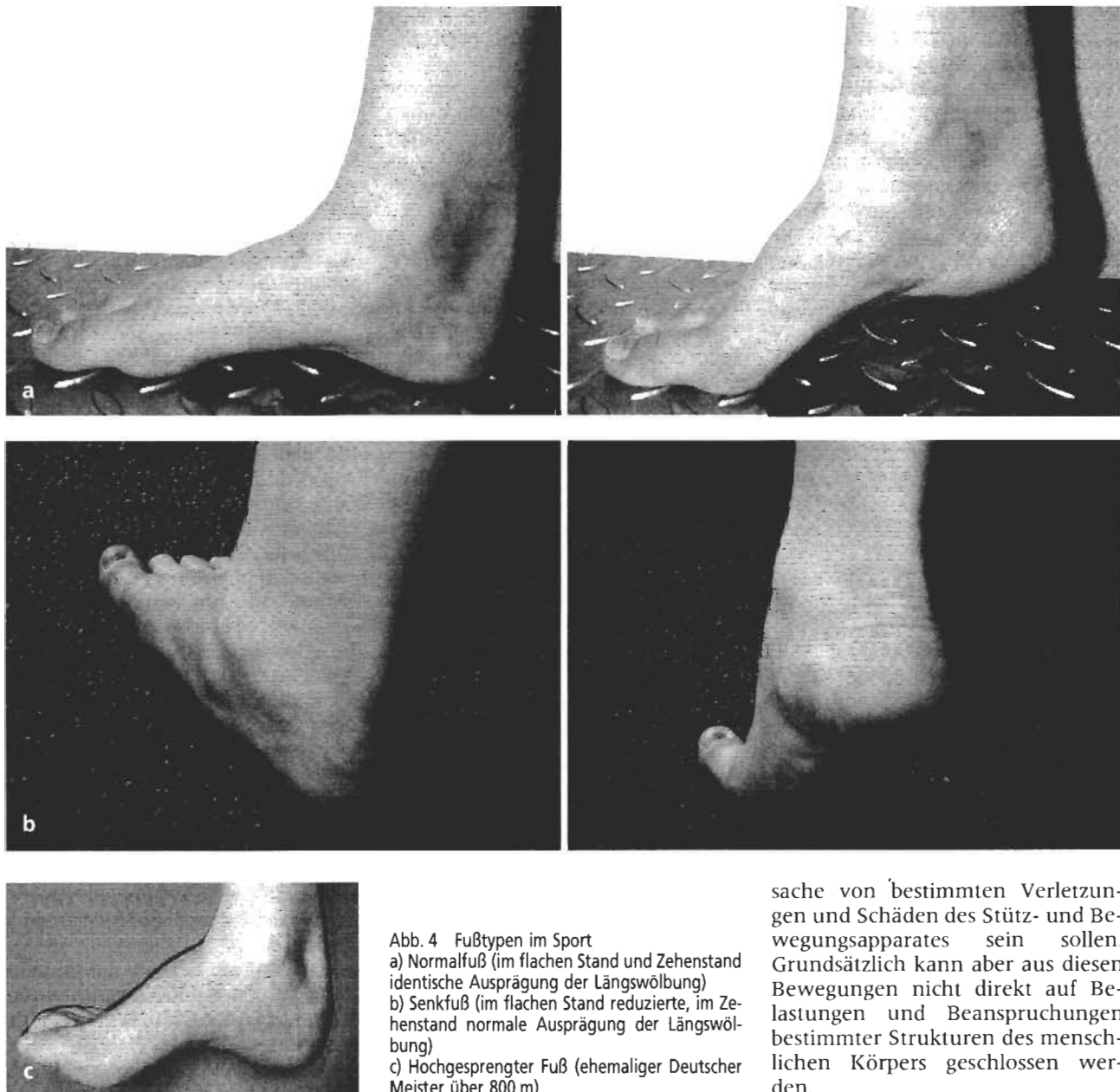


Tab. 4 Konzept zur Definition von Fußformen

**Kinematische Evaluation**

*Videoanalyse*

Bereits seit 30 Jahren werden Film- und Videosysteme zur Analyse verschiedener Bewegungen regelmäßig eingesetzt. Ziel dieser Analysen ist zum einen die Technikoptimierung im Sport (Leistungsdiagnostik). Daneben sind klinische und handwerkliche Einsatzmöglichkeiten entstanden, die präventive, therapeutische und rehabilitative Fragestellungen verfolgen. Theoretisch sollen dabei fehlerhafte oder übermäßige Bewegungen erfaßt werden, die Ur-



sache von bestimmten Verletzungen und Schäden des Stütz- und Bewegungsapparates sein sollen. Grundsätzlich kann aber aus diesen Bewegungen nicht direkt auf Belastungen und Beanspruchungen bestimmter Strukturen des menschlichen Körpers geschlossen werden.

Kinematische Analysen (Tab. 5) sind prinzipiell unter Laborbedingungen (Laufband) oder als Feldtest (Bewegungsanalyse beim freien Laufen) möglich. Einerseits verändert das Laufband zwar die meisten kinematischen Parameter (REINISCH et al., 1991), andererseits bietet es aber in der täglichen Praxis die Möglichkeit einer schnellen Orientierung unter dynamischen Bedingungen. Die Qualität der Analyse ergibt sich durch die Möglichkeit, die Bewegung langsam zu sehen und so vergleichend zu beurteilen (Zeitlupeneffekt). Die Bewegungsanalyse im freien Lauf bietet die Möglichkeit, einen Sportler in seiner natürlichen Bewegung und Bewegungsgeschwindigkeit, gegebenenfalls unter Einsatz seiner Spezialschuhe (z. B. Spikes) und in seiner sportartspezifischen Umwelt (z. B. Kunststoffbahn) zu untersuchen. Nachteilig dabei ist der hohe Aufwand (Zeit, Personal, Kosten).

In der orthopädieschuhtechnischen Versorgungspraxis hat sich in den vergangenen 10 bis 15 Jahren die Laufbandvideoanalyse mittlerweile fast flächendeckend etabliert. Zunächst wurde dabei angestrebt, durch die Messung verschiedener Winkel am Fuß, Unter- und Oberschenkel sowie an den entsprechenden Gelenken Daten zu gewinnen, die wissenschaftlichen Ansprüchen genügen und deshalb auch eine Qualitätskontrolle in der Versorgung, beispielsweise mit Sportschuh-einlagen zuließen. Aus heutiger Sicht muß allerdings kritisch betont werden, daß die Videolaufbandanalyse auf Grund ihrer fehlenden Validität und Reproduzierbarkeit diesen Ansprüchen nicht gerecht werden konnte (GRAU et al., 2000; ROSENBAUM, 1999). Ein Zusammenhang zwischen verschiedenen Fußformen und dem Auftreten sportinduzierter Schädigungen wurde oft unterstellt. Dabei wurde angenommen, daß senkfüßige Athleten mehr pränerien als Sportler mit hochgesprengten Füßen (SUBOTNICK 1985; CLOSE und INMAN, 1967). Andere Untersucher konnten diesen Zusammenhang später jedoch nicht bestätigen (NIGG et al., 1993). KERNOSZEK und RICARD (1990) weisen daraufhin,

Laufbandvideoanalyse	Analyse im „Feld“ (freies Laufen)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● konstante (Labor-)Bedingungen</li> <li>● laufbandinduzierte Lauftechnikänderung</li> <li>● Laufgeschwindigkeit limitiert</li> <li>● einfach, kostengünstig (für praktische Versorgungsaspekte geeignet)</li> <li>● 2D/3D-Problematik</li> <li>● Beurteilung über „Zeitlupeneffekt“</li> <li>● Winkelmessung nicht reliabel</li> <li>● Bildfrequenz bis 50 Hz</li> <li>● keine Aussage zur Belastung und zur aktiver Steuerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● inkonstante Umwelteinflüsse (Wind, Wetter)</li> <li>● natürliches Bewegungsverhalten</li> <li>● sportartspezifische Laufgeschwindigkeit</li> <li>● hoher Aufwand (Personal, Kosten, Zeit) (für wissenschaftliche Fragestellungen geeignet)</li> <li>● nur 3 D sinnvoll</li> <li>● Beurteilung über bestimmte Meßdaten</li> <li>● Winkelmessung reliabel</li> <li>● Bildfrequenz über 100 Hz</li> </ul>

Tab. 5 Kinematische Evaluation. Vergleich praxisrelevanter Methoden

Trittspur	elektronische Meßverfahren	
	Meßplattform	Druckmaßsohle
<ul style="list-style-type: none"> <li>● für Einlagenversorgung unverzichtbar</li> <li>● stat. oder/und dynam. Summenbild</li> <li>● qualitativ</li> <li>● schnell</li> <li>● kaum Kosten</li> <li>● keine zeitliche Auflösung</li> <li>● keine Aussage zum Bewegungsverhalten und zur aktiven Steuerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● für Versorgung wenig wichtig</li> <li>● stat. oder/und dynam. Werte (phasenbezogen)</li> <li>● Analyse Fußfunktion</li> <li>● am besten barfuß</li> <li>● quantitativ</li> <li>● Zeitaufwand hoch</li> <li>● teuer</li> <li>● zeitliche Auflösung (reicht nur für Gehen und langsamen Dauerlauf)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● für Sporteinlagenversorgung wichtig</li> <li>● Analyse Einlagenfunktion + Schuhfunktion</li> <li>● Schuh-/Einlagen-/Fuß-Interaktion</li> </ul>

Tab. 6 Kinetische Evaluation. Vergleich praxisrelevanter Methoden

daß die Rückfußbewegung im Sinn der Pronation besonders vom Winkel des Fußaufsatzes in Relation zur Laufrichtung abhängt. MILANI und HENNING (2000) konnten zeigen, daß die früher meist durchgeführten Messungen der Rückfußbewegung mittels Markierungen, die am Schuh angebracht sind, als besonders problematisch zu bewerten sind. STACOFF et al. (1999) haben mittels intraossär fixierter Marker zeigen können, daß ein systematischer Zusammenhang der calcanearen Bewegung weder zur Höhe der Fußlängswölbung, noch zum Ort der Platzierung einer medialen Stütze (vorn, Mitte, hinten) besteht.

**Kinetische Evaluation**

*Trittspur, Bodenreaktionskraft, Pedobarographie*

Die auf den Körper einwirkenden Kräfte werden mit Kraft-, Beschleunigungs- oder Druckverteilungsmessungen ermittelt. Damit wird eine Ergänzung der Aussagen kinematischer Meßverfahren möglich (Tab. 6).

In der Wissenschaft werden seit gut 30 Jahren Bodenreaktionskräfte dreidimensional mit hoher Genauigkeit erfaßt (Prototyp Kistler-Platte®). Später wurden Meßplattformen entwickelt, die durch zahlreiche differente Sensoren eine räumliche Darstellung der einwirkenden Kräfte eindimensional (vertikale Komponente) und wesentlich preis-

werner ermöglichten (NICOL und HENNIG, 1976). Zur Evaluation funktioneller Fragestellungen bieten sich diese Systeme vor allem beim Barfußgang und -lauf an. Sie sind deshalb besonders für Ganganalysen in der Grundlagenforschung geeignet. Aufbauend auf diesem Meßprinzip wurde später eine flexible Meßsohle entwickelt (SCHAFF und HAUSER, 1987), die vertikale Kräfte zwischen Schuh und Fuß räumlich aufgelöst erfaßt. Für die orthopädiesschuhtechnische Versorgung ist damit eine Möglichkeit geschaffen, Versorgungen (beispielsweise Einlagen) objektiv in ihrer Auswirkung auf den Fuß direkt zu beurteilen. Problematisch für den Einsatz im Sport bei den dabei auftretenden hohen Bewegungsgeschwindigkeiten bleibt aber die mangelhafte zeitliche Auflösung (etwa 50 Bilder pro Sekunde). Nach wie vor kann also auf die Trittspur (Blauabdruck), als summarische, qualitative, preiswerte und schnelle Möglichkeit der kinetischen Evaluation auch bei der Sportschuheinlagenversorgung nicht verzichtet werden.

MORLOCK und MITTLMEIER (1996) haben die Vor- und Nachteile der modernen biomechanischen Ganganalyse auch hinsichtlich ihrer Tauglichkeit zur Analyse von Einlagen zusammengestellt. Auch HENNING und MILANI (2000) empfehlen besonders die Druckverteilungsmessung als wesentliches Instrument der Diagnostik. Die Analyse des Sportlers muß jedoch mit funktionell relevanten Geschwindigkeiten erfolgen, die die zeitliche Auflösung dieser Systeme meist überfordern.

### EMG

Verglichen mit den kinetischen und kinematischen Untersuchungsmethoden bietet nur die Elektromyographie die Möglichkeit, die aktive Steuerung (Stellglied) im Rahmen der neuromuskulären Kontrolle direkt zu erfassen. Bereits seit etwa 50 Jahren wird die Elektromyographie bei Ganganalysen eingesetzt. Die Methodik ist heute weitgehend standardisiert. Der alleinige Einsatz der Elektromyographie bei der Ganganalyse ist nicht sinnvoll, da auch sie nur einen Ausschnitt des

Gesamtproblems erfaßt. In der Kombination mit kinetischen und kinematischen Untersuchungen jedoch sind große Fortschritte bei der Analyse von gesunden und pathologischen Bewegungen gemacht worden. Elektromyographischen Zusatzuntersuchungen ist es zu verdanken, daß in der Sportschuh- und Sportschuheinlagenforschung die traditionellen mechanischen Konzepte („skeletal alignment“) durch neue Modelle mit funktionellem Hintergrund „Muscle tuning theory“ (NIGG et al., 1997; 2001) zunehmend ersetzt werden.

Die am Markt verfügbaren Elektromyographieanlagen sind noch nicht für den Einsatz in der orthopädiesschuhtechnischen Versorgungspraxis geeignet. Der Einsatz der Elektromyographie in der Einlagenforschung ist bisher nur ansatzweise umgesetzt. Für die Zukunft scheint in diesem Bereich noch entscheidendes Potential zu liegen zur Untersuchung der aktiven muskulären Antwort auf den propriozeptiv-sensorischen Reiz, den eine Einlage am Fuß bewirkt (GOLLHOFER et al., 2001).

### Wissenschaftliche Evaluation (Stand der Forschung)

Der konkrete Wirkmechanismus der Sportschuheinlage ist nach wie vor unklar (KILMARTIN und WALLACE, 1994). Weder die Hypothese des „skeletal alignment“ noch die propriozeptive Hypothese sind bisher experimentell gesichert (RAZEGHI und BATT, 2000). Die wenigen klinischen Studien dagegen weisen auf einen positiven Effekt der Sportschuheinlage bei der Behandlung lauffasoziiert auftretender Beschwerdebilder hin. Leider sind alle diese Untersuchungen nicht kontrolliert und randomisiert. Die Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen zum präventiven Wert der Sportschuheinlage sind widersprüchlich.

### Experimentelle Untersuchungen

#### Kinetik (Impact)

Der Versuch, Bodenreaktionskräfte vor allem während der Auftrittphase des Gangzyklus zu reduzieren, wird in der Sportschuhforschung als

Dämpfung bezeichnet. Heute werden diese sogenannten Impactkräfte nicht mehr als (primär) schädigend angesehen (BRÜGGEMANN, 1999).

Obwohl die Dämpfung im funktionellen System Läufer-Einlage-Sportschuh-Untergrund aus Gründen der Volumenkonstanz in erster Linie der Zwischensohle des Sportschuhes zukommen sollte, finden sich zahlreiche Untersuchungen zum Dämpfungsverhalten verschiedener shockabsorbierender Materialien. NIGG et al. (1988) konnten in einer biomechanischen Analyse bei Läufern in Sportschuhen zeigen, daß zwischen vier verschiedenen viskoelastischen Dämpfungselementen und im Vergleich zu einer konfektionierten Standardsportschuheinlage keine Unterschiede in kinematischer und kinetischer Hinsicht besteht. WINDLE et al. (1999) dagegen haben bei Rekruten beim Marschieren in Militärschuhen Unterschiede zwischen den vier getesteten viskoelastischen Dämpfungselementen und im Vergleich zum Marschieren ohne Einlagen nachgewiesen. Mittels Pedobarographie konnte gezeigt werden, daß die gemessenen Spitzendrücke sowie das Druck-Zeitintegral verschiedener Einlagenmaterialien sich nicht unterscheiden. Ein Zusammenhang zwischen dem subjektiv angegebenen Tragekomfort und der Druckcharakteristik bestand nicht (PAWELKA et al., 1997).

#### Kinematik

NIGG und MORLOCK (1987) geben an, daß eine mediale Abstützung zu einer Reduktion der Pronation führt. NAWOCZENSKI et al. (1995) konnten wie GRAU et al. (2000) eindeutig zeigen, daß mit der 2D-Videoanalyse keine verlässlichen Daten bei der Laufanalyse zu gewinnen sind. Mit der 3D-Videoanalyse jedoch ergaben sich signifikante Befunde hinsichtlich der Reduktion (durchschnittlich 2°) der tibialen Innenrotation und für die Bewegungsübertragung der calcanearen In-/Eversion beim Einsatz einer Einlage. Die Höhe der Längswölbung des Fußes spielte dabei keine Rolle.

#### Sensorischer Feedback (Propriozeption)

ROBBINS und GOUW (1991) zeigten als erste, daß durch die Einarbeitung kleiner Unregelmäßigkeiten

auf der Oberfläche von Sportschuh-einlagen sich der sensorische Input verbessern ließ, während glatte Oberflächen zu einer Wahrnehmungsstörung („perceptual illusion“) führten. BURGESS et al. (1997) untersuchten die Wirkung eines 4 mm hohen Paßteils, welches an verschiedenen Stellen einer EVA-Sohle angebracht und in feste bzw. Laufschuhe aufgebracht wurde. Mittels plantarer Druckmessung zeigte sich eine Verlagerung und eine Reduktion des Spitzendrucks nur im harten Schuh.

In einer äußerst interessanten Untersuchung an einem Patienten mit einer instrumentierten Hüftprothese konnte in vivo die Auswirkung verschiedener Schuh- und Einlagenbedingungen geprüft werden (BERGMANN et al., 1995). Die niedrigsten Kräfte wurden beim barfüßigen Gehen und Joggen registriert. Alle Schuhe erhöhten die Gelenkkräfte. Nur Schuhe mit besonders harter Sohle zeigten klare Nachteile gegenüber verschiedenen anderen Schuhen. Pufferabsätze, Sohlenhärte und Einlagen zeigten keine Vorteile. Die Autoren schlußfolgern daraus, daß die Aufrechterhaltung eines stabilen Gangbildes die entscheidende Regelgröße sei.

**Therapieinterventionsstudien**

SPERRY und REESTAN (1983) versorgten 50 Sportler mit laufassoziiert aufgetretenen Beschwerden der unteren Extremitäten mit Sportschuh-einlagen. Nach durchschnittlich 42 Monaten waren 56 % beschwerdefrei geworden. 8 % waren gebessert, 30 % unverändert. DONATELLI et al. (1988) untersuchten nach 2-24 Monaten 81 einlagenversorgte Probanden mittels Fragebogen. LOHRER (1989) behandelte Sportschäden der unteren Extremität bei 50 Läufern, die wegen laufinduzierter Überlastungssyndrome mit Sportschuh-einlagen versorgt worden waren. Bei der Fragebogenevaluation 5 (1-18) Monate nach der Versorgung fanden sich 34 % sehr gute und 42 % gute Ergebnisse. Mäßig gebessert waren 20 %, während nur 4 % der Patienten über unveränderte Beschwerden klagten.

Bei Patienten mit einer Osteochondrosis dissecans am medialen Femurkondylus konnte zumindest für die frühen Stadien eine eindeutige Besserung durch eine außen-randerhöhte Einlage nachgewiesen werden (UCHIO et al., 2000). Analog sind die Ergebnisse mit außen-randerhöhten Einlagen bei der medialen Gonarthrose in den frühen Stadien (SASAKI und YASUDA, 1987). Eine interessante Untersuchung legte TODA (2001) vor. Er konnte im prospektiv randomisierten Vergleich zeigen, daß außen-randerhöhte Einlagen nur dann einen statistisch eindeutig positiven Effekt bei PatientInnen mit medialer Gonarthrose zeigten, wenn sie elastisch am Fuß fixiert waren. Ob diese Ergebnisse auch auf die Sportschuh-einlagenversorgung übertragbar sind bleibt abzuwarten.

**Präventionsstudien**

Eine systematische Literaturrecherche zum präventiven Einsatz der Sportschuh-einlagen wurde von YEUNG und YEUNG (2001) publiziert. Dabei wird festgestellt, daß lediglich Trainingsmodifikationen die Inzidenz von Sportschäden der unteren Extremität beim Läufer evident reduzieren. Der präventive Einsatz von verschiedenen Dämpfungskeilen läßt eine Reduktion von knöchernen Streßreaktionen erwarten (GILLESPIE und GRANT, 2000). Ob Sportschuh-einlagen und Dehn-gymnastik („stretching“) weichteil-assoziierte Sportschäden der unteren Extremität beim Läufer reduzieren, läßt sich aufgrund der Datenlage bisher nicht sichern YEUNG und YEUNG (2001). Der Nachteil bei den Untersuchungen, die diesen prospektiven Analysen zugrunde liegen, besteht in der Tatsache, daß die Probandengruppen meist Rekruten waren, und die Übertragbarkeit in den Freizeit- und Leistungssport so nicht ohne weiteres möglich ist. Weiterer Forschungsbedarf besteht also auch für diesen Bereich. CLARK et al. (1989) haben im randomisierten und kontrollierten Design im statistischen Vergleich keinen Unterschied zwischen einer viskoelastischen und einer geschäumten Einlage hinsichtlich der Verletzungs-

häufigkeiten im Aerobicsport gesehen.

**Literatur**

BATT ME, TANJI JL, SKATTUM N (1996) Plantar fasciitis: a prospective randomized clinical trial of the tension night splint. *Clin J Sport Med* 6: 158-162  
 BERGMANN G; KNIGGENDORF H; GRAICHEN F; ROHLMANN A (1995) Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. *J Biomech* 28: 817-827  
 BLAZINA ME, KERLAN RK, JOBE FW (1973) Jumper's knee. *Orthop Clin North Am* 4: 665-678  
 BOURDIOL RJ (2001) Funktionelle Myologie. *OST* 7/8: 16-25  
 BRODY MD, DAVID M (1986) Running injuries (In: *The lower extremity and spine in sport medicin* (Edited by NICHOLAS JA, HERSHMAN EB) 1560-1566  
 BRÜGGEMANN GP (1999) Sind Stoßkräfte beim Laufen a priori gefährlich? *OST-Sonderheft*: 29-31  
 BURGESS S, JORDAN C, BARTLETT R (1997) The influence of a small insert, in the footbed of a shoe, upon plantar pressure distribution. *Clin Biomech* 12: 5-6  
 BUSSEUIL C, FREYCHAT P, GUEJ EB, LACOUR JR (1998) Rearfoot-forefoot orientation and traumatic risk for runners. *Foot Ankle Int* 19 (1): 32-7  
 CAVANAGH PR, LAFORTUNE MA (1980) Ground reaction forces in distance running. *J Biomech* 13: 397-406  
 CLARK JE, SCOTT SG, MINGLE M (1989) Viscoelastic shoe insoles: their use in aerobic dancing. *Arch Phys Med Rehabil* 70: 37-40  
 CLOSE JR, INMAN VT (1967) The function of the subtalar joint. *Clin Orthop* 50: 159-179  
 COOK JL, KHAN KM (2001): What is the most appropriate treatment for patellar tendinopathy? *Br J Sports Med* 35: 291-294  
 DÖDERLEIN L, METAXIOTIS D, SIEBEL A (2001) *OST Sonderheft Propriozeption*: 42-46  
 DONATELLI R, HURLBERT C, CONAWAY D (1988) Biomechanical foot orthotics: a retrospective study. *J Orthop Sports Phys Ther* (10): 205-212  
 FUREY JG (1975): Plantar fasciitis. The painful heel syndrome. *J Bone Jt Surg* 57-A: 672-673  
 GARDNER LI, DZIADOS JE, JONES BH, BRUNDAGE JF, HARRIS JM, SULLIVAN R, GILL P (1988) Prevention of lower extremity Stress fractures: a controlled trial of a shock absorbent insole. *Am J Public Health* 78: 563 - 567  
 GELLMAN R, BURNS S (1996) Walking aches and running pains. Injuries of the foot and ankle. *Prim Care* 23 (2): 263-80  
 GOLLHOFER A, LOHRER H, ALT W (2001) Propriozeption – Grundlegende Überlegungen zur sensomotorischen Steuerung. *OST Sonderheft Propriozeption*: 10-14  
 GOLLHOFER A, KOMI PV (1987) Measurement of man-shoe-surface interaction during locomotion. *Med Sport Sci* (26): 187-199

- GRAU S, MÜLLER O, BÄUERLE W, BECK M, KRAUSS I, MAIWALD CH, BAUR H, MAYER F (2000) Grenzen und Möglichkeiten der 2D-Videanalyse in der Bewertung physiologischer und pathologischer Abrollvorgänge des Fußes bei Läufern. *Sportverl Sportschad* 14: 107–114
- GRIFKA J (1997) Einlagen, Schuhzurichtungen, orthopädische Schuhe. Indikationen, Verordnung, Ausführung. Enke Verlag, Stuttgart
- GRIMSTON SK, ENGSBERG JR, KLOIBER R, HANLEY DA (1991) Bone mass, external loads, and Stress fracture in female runners. *Int J of Sport Biomechanics* 7: 293–302
- HEILI C (2001) Beschrieben in OST Sonderheft Propriozeption: 60–61
- HENNING EM, MILANI TL (2000) Pressure distribution Measurements for Evaluation of Running Shoe Properties. *Sportverl Sportschad* 14: 90–97
- HEUCHEMER K, NEUMANN C, SCHRÖDER M (1999) Rehabilitation und Aufbautraining nach Verletzungen und Überlastungsschäden. *Ost Sonderheft Sport*: 68–71
- JAHLING L (1999) Propriozeptive Sporeinlagen für Basketballer. *OST Sonderheft Sportversorgung*: 94–95
- JAMES SL, BATES BT, OSTERNIG LR (1978) Injuries to runners. *Am J Sports Med* 69: 40–50
- JÓZSA L, P. KANNUS (1997) Human tendons. Anatomy, physiology and pathology. *Human Kinetics*
- KERNOZEK TW, RICARD MD (1990) Foot placement angle and arch type: effects on rearfoot motion. *Arch Phys Med Rehabil* 71: 988–991
- LEPHART SC, FU FH (2000) eds: Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability *Human Kinetics*
- LOHRER H (1989) Merkmale und Effizienz der Sportschuheinlage beim Läufer. *Sportverletz Sportschaden* 3: 106–111
- LOHRER H, FÖHRENBACH R, GOLLHOFER A, KECK E (1990) Zum Problem der Streßfraktur aus sport-orthopädischer Sicht (In: BREMER D, ENGELHARDT M, SINGER R, WODICK R Triathlon: Biomechanik, Trainingskonzeption, Verletzungsprophylaxe) Czwalina, Ahrensburg: 87–98
- LOHRER H (1991) Seltene Ursachen und Differentialdiagnosen der Achillodynie. *Sportverl Sportschad* 5: 182–185
- LOHRER H (1996) Die Achillodynie – Eine Übersicht. *Sportorthop Sporttraumatol* 12: 36–42
- LOHRER H, ALT W, GOLLHOFER A (1999) Der moderne Joggingsschuh – Design versus Biomechanik. *OST-Sonderheft*: 13–16
- LOHRER H, SCHÖLL J, ARENTZ S Radial Shock-wave Therapy (RSWT) for the treatment of „Jumper’s Knee“ and Achilles tendonitis. *Book of Abstracts. CASM/ACMS annual symposium and sport medicine Conference, Calgary/CAN*
- LOHRER H, SCHÖLL J (2001) Anterior knee pain in athletes. *Book of abstracts. 6th Annual Congress of the European College of Sport Science*: 64
- LOHRER H (2002) Funktionelles Kompartmentsyndrom (In: WIRTH CJ (Hrsg.) *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie – Fuß*) Thieme Verlag, Stuttgart
- LYNCH DM, GOFORTH WP, MARTIN JE, ODOM RD, PREECE CK, KOTTER MW (1998) Conservative treatment of plantar fasciitis. A prospective study. *J Am Podiatr Med Assoc* 88: 375–380
- MILANI TL, HENNING EM (2000) Measurements of rearfoot motion during running. *Sportverl Sportschad* 14: 115–120
- MILGROM CH, SIMKIN A, ELAD A, NYSKA M (2000) Using bone’s adaptation ability to lower the incidence of Stress fractures. *Am J Sports Med* 28: 245–251
- MILLER JE, NIGG BM, WEN LIU, STEFANYSHYN DJ, NURSE MA (2000) Influence of Foot, Leg and Shoe Characteristics on subjective comfort. *Foot and Ankle Int* 21: 759–767
- MORLOCK MM, MITTLMEIER T (1996) Modern gait analysis: a tool to improve shoes, insoles and the understanding of foot function. *Acta Orthop Belg* 62, Suppl 1: 11–16
- NAWOCZENSKI DA, COOK TM, SALTZMAN CL (1995) The effect of foot orthotics on three-dimensional kinematics of the leg and rearfoot during running. *J Orthop Sports Phys Ther* 21: 317–327
- NICOL K, HENNIG, EM (1976) Time dependent method for measuring force distribution using a flexible mat as capacitor. *Biomechanics V-B, University Park Press*: 433–440
- NIGG BM, MORLOCK M (1987) The influence of lateral heel flare of running shoes on pronation and impact forces. *Med Sci Sports Exerc* 19: 294–302
- NIGG BM, HERZOG W, READ LJ (1988) Effect of viscoelastic shoe insoles on vertical impact forces in heel-toe running. *Am J Sports Med* 16: 70–76
- NIGG BM, SEGESESSER B (1992) Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction. *Med Sci Sports Exercise* 24: 595–602
- NIGG BM, NACHBAUER W, COLE G (1993) Effects of arch height of the foot on angular motion of the lower extremities in running. *J Biomech* 26: 909–916
- NIGG BM (1997) Impact forces in running. *Current Opinion in Orthopedics* 8: 43–47
- NIGG BM, NURSE MA, STEFANSKY DJ (2001) Einlagen für den Sport – Funktion und Aufgaben. *OST Sonderheft Propriozeption*: 32–40
- PAWELKA S, KOPF A, ZWICK E, BHM T, KRANZL A (1997) Comparison of two insole materials using subjective parameters and pedobarography (pedar-system): *Clin Biomech* 12: 6–7
- PRATT DJ (1990) Long term comparison of some shock attenuating insoles. *Prosthet Orthot Int* 14: 59–62
- QUASCHNICK MS (1996) The diagnosis and management of plantar fasciitis. *J Nurse Pract* 21 (4): 50–54
- RAZEGHI M, BATT ME (2000) Biomechanical analysis of the effect of orthotic shoe inserts: a review of the literature. *Sports Med* 29: 425–438
- REINISCH M, SCHAFF P, HAUSER W, ROSEMEYER B (1991) Laufband versus Feldversuch. *Bewegungsanalyse und Druckverteilungsmessung im Sportschuh. Sportverl Sportschad* 5: 60–73
- ROBBINS SE, GOUW GJ (1991) Athletic footwear: unsafe due to perceptual illusions. *Med Sci Sports Exerc* 23: 217–224
- ROSENBAUM D (1999) Laufbandanalyse und Druckverteilungsmessung in der Praxis: Die Möglichkeiten nutzen, die Grenzen kennen. *OST-Sonderheft Sportversorgung*: 78–82
- RUDZKI SJ (1997) Injuries in Australian Army recruits. Part I: Decreased incidence and severity of injury seen with reduced running distance. *Mil Med* 162 (7): 472–6
- SASAKI T, YASUDA K (1987) Clinical evaluation of the treatment of osteoarthritic knees using a newly designed wedged insole. *Clin Orthop* 221: 181–187
- SCHAFF P, HAUSER W (1978) Dynamische Druckverteilungsmessung mit flexiblen Meßmatten – ein innovatives Meßverfahren in der Sportorthopädie und Traumatologie. *Sportverl Sportschad* 4: 185–222
- SEGESESSER B, NIGG BM (1980) Insertionstendinitosen am Schienbein, Achillodynie und Überlastungsfolgen am Fuß – Ätiologie, Biomechanik, therapeutische Möglichkeiten. *Orthopäde* 9: 207–214
- SEGESESSER B (1999) Sportschuhe – Wunsch und Wirklichkeit. *OST-Sonderheft Sport*: 6–12
- SPERRY PN, REESTAN L (1983) Podiatry and the sports physician – an evaluation of orthoses. *Br J Sports Med* 17: 129–134
- STACOFF A, NIGG BM, REINSCHMIDT C (1999) Movement coupling between calcaneus and tibia under varied shoe condition. *Book of Abstracts CVIth Congress, International Society of Biomechanics, Calgary*: 499
- SUBOTNICK SI (1985) The biomechanics of running: implications for prevention of foot injuries. *Sports Med* 2: 144–153
- TODA Y (2001) The clinical evaluation of the lateral wedged insole fixed elastically on the subtalar joint of patients with osteoarthritis of the knee. *Ryumachi* 41: 646–652
- UCHIO YM OCHI M, ADACHI N, SHU N (2000) Effectiveness of an insole with a lateral wedge for idiopathic osteonecrosis of the knee. *J Bone Joint Surg (Br)* 82: 724–727
- WILEY JP, CLEMENT DB, DOYLE DL, TAUNTON JE (1987) A primary care perspective of chronic compartment syndrome of the leg. *The Physician and Sportsmedicine* 15: 111–120
- WILLIAMS DS, MCCLAY IS, HAMIL J (2001) Arch structure and injury patterns in runners. *Clin Biomech* 16: 341–347
- WINDLE CM, GREGORY SM, DIXON SJ (1999) The shock attenuation characteristics of four different insoles when worn in a military boot during running and marching. *Gait Posture* 9: 31–37
- YEUNG EW, YEUNG SS (2001) A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries. *Br J Sports Med* 35 (6): 383–9

(Die Arbeit basiert auf der Publikation: Sportschuheinlagenversorgung – Grundlagen und aktuelle Tendenzen. *OST* 2/2002)

### **Anschrift des Verfassers**

Dr. med. Heinz Lohrer  
Sportmedizinisches Institut e. V.  
Otto-Fleck-Schneise 10  
60528 Frankfurt