

P. Gorißen¹, M. Staat¹, W. van Laack²

Experimentelle Kraftmessungen als Beitrag zur Wirksamkeitsbeurteilung von Schienbeinschonern im Fußballsport

Experimental measurement of forces as a contribution to evaluate the effectiveness of shin guards in soccer

Zusammenfassung: Diese Studie beschäftigte sich mit der Dämpfungswirkung von Schienbeinschonern, wie sie beim Fußball zum Einsatz kommen. Sie wurde mit Hilfe eines Pendelhammers durchgeführt, der verschiedene Aufschlagkräfte auf die Schoner ermöglichte. Dabei wurde deutlich, dass Schienbeinschoner die beste Wirkung bei Maximalkräften unterhalb von 5kN erreichen können, dass bei größerer Belastung allerdings Verbesserungsbedarf besteht. Hierfür konnte, u.a. durch den Einsatz neuer Materialien, ein guter Ansatzpunkt im „adäquaten Zusammenspiel von Schale und Polsterung“ der Schoner gefunden werden. Die Untersuchung hat weiterhin gezeigt, dass zumindest teilweise eine deutliche Verbesserung der Dämpfungswirkung der Schienbeinschoner in den letzten Jahren erreicht werden konnte.

Schlüsselwörter: Fußball, Schienbeinschoner, Wirkung, Schutz, Dämpfung, Aufschlagversuch

Abstract: This study was conducted to test the damping effects of commercially available soccer shin guards on their damping effects. Therefore a pendulum impact apparatus with varying impact forces was used. It became clear that shin guards show the best effect at maximum forces of less than 5kN. There is however a need for improvement at greater impact forces. A good starting point was found in an „appropriate interaction of shell and padding“ of the shin guard. It was further clarified that a significant improvement on the damping effect could be achieved at least partially over the last years.

Keywords: Soccer, soccer shin guards, efficiency, protection, damping, impact test

¹ Institut für Bioengineering (IfB), Labor Biomechanik, FH Aachen, Campus Jülich

² Orthopädische Gemeinschaftspraxis und Zentrum für ambulante arthroskopische Operationen Prof. Dr. med. Walter van Laack & Dr. med. Gerd Froning, Herzogenrath b. Aachen
DOI 10.3238/oup.2012.0010-0015

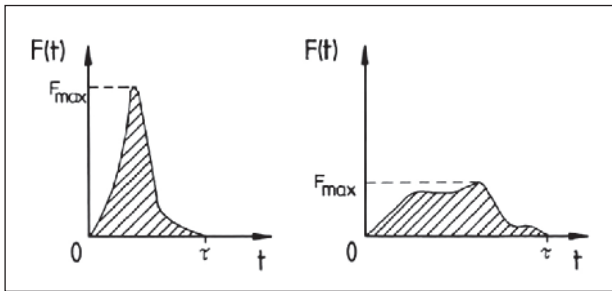


Abbildung 1 Verringerung der Maximalkraft durch Verlängerung der Stoßzeit [11, 12].

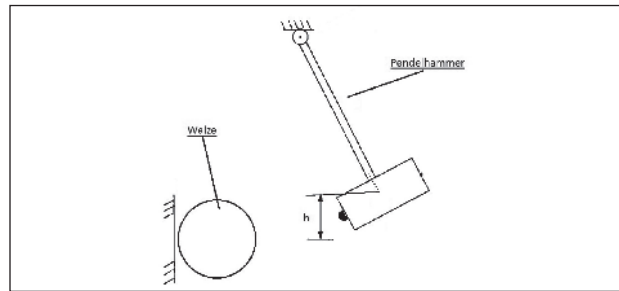


Abbildung 2 Skizze des Versuchsaufbaus



Abbildung 3 Adidas Predator



Abbildung 4 Jako Master



Abbildung 5 Puma Vencida



Abbildung 6 Uhlsport Sockshield

Fußball ist eine der populärsten Sportarten der Welt. Die FIFA ermittelte in einer Zählung im Jahr 2006 265 Millionen aktive Fußballspieler weltweit [1]. In Deutschland nehmen laut dieser Studie 20% der Bevölkerung aktiv als Spieler oder als Schiedsrichter am Fußballspiel teil. Der Deutsche Fußball Bund (DFB) ist der größte Fachverband im Deutschen Sportbund [7] und zählte im Jahr 2010 knapp sieben Millionen Mitglieder, die in über 25000 Vereinen organisiert sind [2].

Laut Henke & Gläser verletzen sich in Deutschland jedes Jahr 1,25 Millionen private Sportler in einem Ausmaß, das eine ärztliche Behandlung der Verletzung erfordert. Der Großteil dieser Verletzungen (45%) erfolgt beim Fußballspiel. Bei den männlichen Sporttreibenden liegt dieser Anteil gar noch höher (58%). Die Kosten für die Behandlung aller Sportverletzungen betragen im Jahr 2000 mehr als 1,5 Milliarden [7].

Der Landessportverband Schleswig-Holstein verzeichnete im Jahr 1988 als hauptsächliche Verletzung im Fußball die Prellung (50,1%), wobei vornehm-

lich der Unterschenkel betroffen war. Die Prellungen wurden dabei in erster Linie durch Schläge oder Tritte hervorgerufen [9].

Zur Vermeidung dieser Verletzungen sollen unter anderem Schienbeinschoner dienen, die laut Regel 4 der offiziellen Fußballregeln des DFB 2010/2011 zur Grundausrüstung eines jeden Fußballspielers gehören [2, 3]. Über den eigentlichen Nutzen dieser Schoner sind aber nur wenige Untersuchungen und Vorgaben bekannt. Dies wirft die Frage auf, ob tatsächlich Schutz vor einer Verletzung geboten werden kann oder ob es sich bei der Entwicklung eines Schoners stärker um Design und Optik als um Sicherheit dreht?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde eine Untersuchung über die Wirksamkeit von Schonern im Hinblick auf ihre Möglichkeit, maximale Kräfte zu reduzieren, indem sie die Stoßzeiten verlängern (Dämpfungswirkung), durchgeführt. Darüber hinaus wurden aus innovativen Überlegungen auch verschiedene andere Materialien im Zusammenspiel getestet, um einen Ansatz-

punkt für eventuelle Verbesserungen zu finden.

Zunächst wurde ein Überblick über die Anatomie und Biomechanik des menschlichen Unterschenkels gewonnen, um so Verletzungsvorgänge beim Fußball besser nachvollziehen zu können.

Der Schienbeinschoner ist annähernd dreiseitig geformt und zwischen proximalem und distalem Ende leicht gedreht [8]. Allgemeine Aussagen zu Bruch- und Biegesteifigkeit der Tibia sind schwierig, da Knochen ihre Form entsprechend ihrer Belastung geringfügig ändern können. So weisen z. B. Tibia und Fibula eines trainierten Sportlers häufig einen größeren Querschnitt auf als der eines untrainierten Menschen [9]. Francisco et al. untersuchten die Schienbeine eines Mannes und einer Frau und stellten einen Bruch fest, wenn der Impuls bei einem Aufschlag eine Maximalkraft von (2927 ± 403) N hervorruft [5]. Im Vergleich dazu stellte van Laack schon 1982 fest, dass bei einer Kräfteinwirkung von 3,28 kN eine Wahrscheinlichkeit von 50% für einen Bruch der Tibia

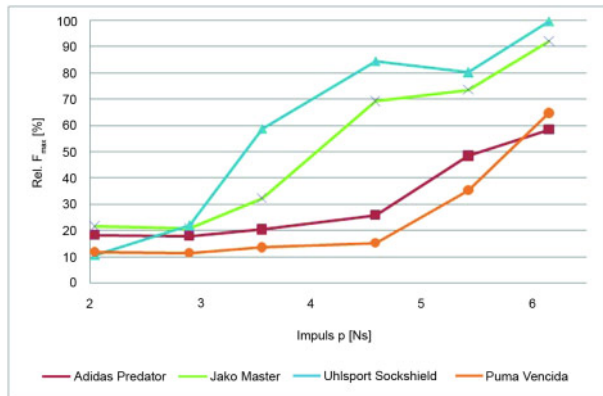


Abbildung 7 Grafische Darstellung der Versuchsergebnisse der Schienbeinschoner

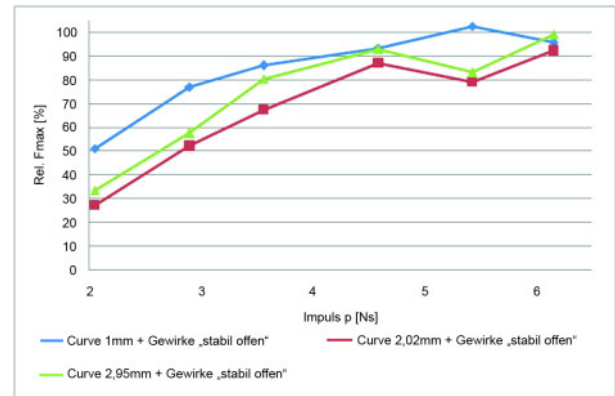


Abbildung 8 Grafische Darstellung der Versuchsergebnisse der Materialien

herrscht [10]. Laut Brinckmann, Frobin und Leivseth [4] beträgt die Bruchspannung der äußeren Knochenschicht (Kortikalis) 150 N/mm^2 bei einer Bruchdehnung von 1,5%. Im Vergleich dazu weist Baustahl S 185 eine Bruchspannung von $290 - 510 \text{ N/mm}^2$ bei einer Bruchdehnung von 18% auf.

Experimenteller Aufbau

Während des Stoßvorganges wird der Impuls aufgrund der Krafteinwirkung geändert. Ist es durch den Schoner möglich, die Aufschlagzeit bei gleicher Impulsänderung zu vergrößern, kann also eine Verringerung der Maximalkraft erreicht werden. Das bedeutet, dass bei erhaltener Gesamtkraft die wirkende Maximalkraft verringert wird. Dies wird in Abbildung 1 verdeutlicht. Die beiden Kraft-Zeit-Diagramme zeigen deutlich, dass durch eine Verlängerung der Stoßzeit \square eine Verringerung der Maximalkraft F_{max} bei gleichbleibender Impulsänderung $p - p_0$ (das ist die Fläche unter dem Kraft-Zeit-Verlauf) erreicht werden kann.

Eine Skizze des Versuchsaufbaus ist Abbildung 2 zu entnehmen. Ein Pendelhammer mit einer daran angebrachten Hammerfinne schlug auf eine Holzwalze, die mit einem Durchmesser von 80 mm eine ähnliche Form wie ein Unterschenkel besitzen sollte und an der die Schienbeinschoner befestigt wurden. Durch eine Variation der Fallhöhe konnten verschiedene Impulse zum Einsatz gebracht werden.

Insgesamt wurden sechs verschiedene Fallhöhen eingesetzt:

Zunächst wurden die maximalen Aufschlagkräfte auf die ungeschützte Walze bei den unterschiedlichen Fallhöhen ermittelt. Diese wurden später mit den Werten der Schoner und anderen Materialien verglichen und die relativen auftretenden Maximalkräfte bestimmt:

$$\text{Rel.}F_{max} = \frac{F_{max} \text{ Walze mit Schoner}}{F_{max} \text{ ungeschützte Walze}} \cdot 100\%$$

Zur Ermittlung der Kräfte wurden drei verschiedene Sensoren eingesetzt:

- ein Kraftsensor, der hinter der Walze angebracht wurde
- ein Winkelgeber, der am Pendelarm befestigt wurde
- ein Beschleunigungssensor, der am Pendelhammer angebracht wurde

Ergebnisse

Im Rahmen dieser Abhandlung werden die Untersuchungsergebnisse von vier verschiedenen Schienbeinschonern der Marken Adidas, Jako, Puma und Uhlsport sowie die Ergebnisse einer Verbindung aus einem Abstandsgewirke und einem Polymerwerkstoff aus Polypropylen dargestellt.

Die untersuchten Schienbeinschoner gleichen sich dabei deutlich im Aufbau: alle besitzen eine Hartschale und eine darunter liegende Polsterung. Die Polsterung scheint bei den meisten Schonern zum Großteil aus Polyestergerewe zu bestehen, was aber aufgrund ungenauer Angaben der Hersteller schwierig zu prüfen ist. Die Dicke variiert dabei zwischen ca. 2 mm und ca. 6 mm.

Das Abstandsgewirke wurde vom Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz, zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um zwei textile Flächen, die durch Abstand haltende Fäden in einem druckelastischen Abstand gehalten werden. Unterschiede gibt es dabei sowohl in der Länge und Härte der Fäden als auch in den verwendeten textilen Flächen. Das hier getestete Gewirke wies eine Wabenstruktur mit offener Oberfläche auf und besaß eine Tiefe von 5 mm. Die Konfiguration der Abstand haltenden Fäden war als „stabil“ angegeben.

Bei dem untersuchten Polymerwerkstoff aus Polypropylen handelt es sich um „Curv“ des Unternehmens Propex Fabrics, Gronau. Der Thermoplast lag in Dicken von 1 mm, 2,02 mm und 2,95 mm vor und sollte eine hohe Schlagfestigkeit bei einem geringen Gewicht bieten.

Die Versuchsergebnisse der Schienbeinschoner sind in Abbildung 7 veranschaulicht.

Zunächst ist festzuhalten, dass alle Schoner die Untersuchung bestanden haben, ohne zerstört zu werden. Allerdings zeigte sich auch, dass einige Schoner bei großen wirkenden Kräften keine Wirkung mehr zeigen. Es zeigt sich deutlich, dass die Schoner bei geringen Fallhöhen von 5–15 cm ($p = 2,05 \text{ Ns} - 3,56 \text{ Ns}$) sehr gut schützen und die Schlagkraft um bis zu 90% reduzieren können, aber die Schutzwirkung ab einer Fallhöhe von 25 cm ($p = 4,59 \text{ Ns}$) rapide abnimmt.

Die Versuchsergebnisse legen den Schluss nahe, dass gerade bei höheren Kräften eine vollständige Hartschale

i	h_i [m]	v_i [m/sC]	p_i [Ns]
1	0,05	1,75	2,05
2	0,1	2,47	2,9
3	0,15	3,02	3,56
4	0,25	3,9	4,59
5	0,35	4,62	5,43
6	0,45	5,24	6,16

Tabelle 1 Aus den Fallhöhen h berechnete Geschwindigkeiten v_i und Impulse p_i

Schoner	Relative Maximalkräfte $F_{\text{Rel.Max}}$ in %					
	Fallhöhe 5 cm	Fallhöhe 10 cm	Fallhöhe 15 cm	Fallhöhe 25 cm	Fallhöhe 35 cm	Fallhöhe 45 cm
Adidas „Predator“	18,11	17,73	20,29	25,63	48,38	58,42
Jako „Master“	21,34	20,66	32,26	69,23	73,47	92,08
Puma „Vencida“	11,67	11,38	13,39	15,19	35,33	64,67
Uhlsport „Sock-shield“	10,51	21,72	58,77	84,57	80,24	99,9

Tabelle 2 Relative Maximalkräfte der Schienbeinschoner bei unterschiedlichen Fallhöhen

Material	Dicke Curv	Relative Maximalkräfte $F_{\text{Rel.Max}}$ in %					
		Fallhöhe 5 cm	Fallhöhe 10 cm	Fallhöhe 15 cm	Fallhöhe 25 cm	Fallhöhe 35 cm	Fallhöhe 45 cm
Curv + Gewirke „stabil“	1 mm	51,24	77,14	86,1	93,62	102,7	96,03
	2,02 mm	27,45	52,22	67,4	87,21	79,14	92,41
	2,95 mm	33,65	57,73	80,58	93,17	83,22	99,45

Tabelle 3 Relative Maximalkräfte der Materialien bei unterschiedlichen Fallhöhen.

wirksamer ist: So reduzieren die Schoner Adidas Predator und Puma Vencida auch bei einer Fallhöhe von 45 cm ($p = 6,16$ Ns) die Maximalkraft noch auf 58,42% bzw. 64,67%. Eine vollständige Hartschale allein scheint jedoch nicht entscheidend zu sein. Dies zeigt sich am Beispiel des Jako Master: Dieser kann bei einer Fallhöhe von 25 cm ($p = 4,59$ Ns) die Maximalkraft nur auf 69,23% reduzieren. Dies ist der schlechteste Wert der

gezeigten Schoner nach dem Uhlsport Sockshield Light (84,57%). Beim letztgenannten Schoner scheint die Schale wohl einfach weich zu sein: Während er bei einer Fallhöhe von 5 cm ($p = 2,05$ Ns) mit einer Reduzierung auf 10,51% noch den besten Wert aller Schoner erreicht, kann bereits bei einer Fallhöhe von 15 cm ($p = 3,56$ Ns) die Kraft nur noch auf 58,77% reduziert werden. Bei einer Fallhöhe von 45 cm ($p = 6,16$ Ns) ist kei-

ne Schutzwirkung mehr gegeben (99,9%).

Die Versuchsergebnisse der Materialien sind in Abbildung 8 veranschaulicht.

Alle getesteten Zusammenstellungen haben zwar den Test ebenso wie die Schoner zerstörungsfrei überstanden. Allerdings wird sofort ersichtlich, dass hier in keinem Fall ähnlich gute Werte wie bei den Schonern erreicht werden.

Lediglich in den unteren Kraftbereichen konnten akzeptable Werte erzielt werden. So konnte die Kraft bei einer Fallhöhe von 5 cm ($p = 2,05$ Ns) durch die Kombination „Curv 2,02 mm + Gewirk stabil“ auf 27,45% der Maximalkraft reduziert werden. Auffällig ist, dass die beste Reduzierung der Kräfte nicht mit dem stärksten Material Curv 2,95 mm erzielt wird, sondern mit Curv 2,02 mm.

Diskussion

Der Vergleich der Versuchsergebnisse der getesteten Schienbeinschoner mit denen der gestesten Werkstoffe lässt darauf schließen, dass es bei der Konstruktion eines Schoners, der gute Dämpfungseigenschaften besitzt, auf das „richtige Zusammenspiel“ von Schale und Polsterung ankommt: Es hat sich gezeigt, dass eine harte Schale allein nicht unbedingt auch eine gute Polsterung bedeutet. Dies wird deutlich daran, dass weder mit dem stärksten Curv-Material noch mit dem Schoner Jako Master, der eine der härtesten Schalen hat, gute Schutzwirkungen erzielt werden.

Bei Fallhöhen von 5–35 cm lieferte der Puma Vencida die besten Ergebnisse. Dies dürfte darin begründet liegen, dass der Schoner keine ebene Hartschale hat, sondern die Schale „Auswölbungen“ besitzt, was dadurch eine bessere Dämpfung der Kraft bewirkt. Allerdings hat der Schoner somit auch Schwachstellen zwischen den Auswölbungen.

Die Werte des Adidas Predator liegen bei Fallhöhen von 5–35 cm nur relativ gering oberhalb denen des Vencida und erreichen bei einer Fallhöhe von 45 cm den Bestwert aller gestesteten Schoners. Dieser Schoner verfügt über eine ebene Hartschale und einen relativ harten Polymerschäum zur Polsterung. Der Nachteil einer harten Polsterung zeigt sich allerdings durch den Vergleich mit dem UhlSport Sockshield: Bei niedrigen Fallhöhen werden mit den härteren Polsterungen schlechtere Werte erzielt. So wirkt der UhlSport Sockshield bei einer Fallhöhe von 5 cm ($p = 2,05$ Ns) nahezu doppelt so gut wie der Adidas Predator.

Der Vergleich der Versuchsergebnisse von van Laack (1982) mit den aktuellen zeigt allerdings, dass es mittlerweile zumindest partiell zu einer deutlichen Verbesserung der Dämpfungswirkung von Schienbeinschonern gekommen ist: Während van Laack bei Kräften von ca. 2 kN – 6 kN relative Maximalkräfte von 22% – 72% nachwies, wurden in diesem Versuch bei ähnlichen Kräften relative Maximalkräfte von 10% – 85% ermittelt [10]. Teilweise lagen die Ergebnisse selbst bei Kräften von über 6 kN noch im Bereich der Bestwerte von van Laack, bei damals jedoch niedrigeren Krafteinwirkungen (Puma Vencida: 15,19%; Adidas Predator: 25,63%).

Die Wirkung einiger Schoners ist zwar auch bei hohen Belastungen noch als gut zu bezeichnen, allerdings wäre ein Vergleich mit den bei einem Foulspiel im Fußball wirkenden Kräften wünschenswert, um einen Bezug zu den angesprochenen Bruchkräften der Tibia (ca. 3–4 kN) herzustellen.

Aufgrund der Testergebnisse ist davon auszugehen, dass bei einer dementsprechenden Belastung von 3 – 4 kN alle Schienbeinschoner noch einen Schutz vor einem Knochenbruch bieten würden, wobei aber bei einer wirkenden Kraft von ca. 6 kN (Versuch: Fallhöhe 25 cm) nur noch zwei der getesteten Schoners eine nennenswerte Wirkung erzielen können.

Bleibt die Frage zu beantworten, welche Kräfte bei Tritten tatsächlich zu erwarten sind. Schon van Laack hatte dazu zwischen 1978 und 1980 experimentelle Untersuchungen durchgeführt und ermitteln können, dass bei maximal starken Schüssen gegen einen Fußball im Fußballsport mit Impulsüberträgen von ungefähr 11 Ns zu rechnen ist [10]. Damit liegen sie etwa doppelt so hoch, wie die maximalen Impulsüberträge bei der jetzigen Untersuchung der Schienbeinschoner. Da hier aber gegen einen elastischen Ball getreten wurde, der aufgrund seiner Elastizität die Stoßzeit, d.h. die Zeit des Ballkontaktes zwischen Fuß und Fußball, auf etwa 5 ms ausdehnt, ergab sich im Mittel eine maximale Kraft von 2,28 N, der vom schießenden Fuß wohl aufgrund des Tragens von Fußballschuhen toleriert werden

kann. Maximal scharf geschossene Bälle wirken somit offensichtlich auf den Unterschenkel in einer Größenordnung ein, in welchem die getesteten Schienbeinschoner recht gute Wirkung zeigen.

Es ist allerdings insgesamt fraglich, ob der vorliegende Test allein eine umfassende Aussage zur Schutzwirkung treffen kann, da ja nur die reine Dämpfungswirkung gemessen wird. Dafür werden bei uns derzeit verschiedene weitere Untersuchungen, vor allem auch Messungen zur Druckverteilung, durchgeführt bzw. wiederholt.

Die vorliegende Untersuchung hat weiterhin gezeigt, dass die meisten heutigen Schienbeinschoner gegenüber denen vor über 30 Jahren deutlich sicherer geworden sind, wie der Vergleich mit den Ergebnissen von van Laack zeigt, dessen Stoßversuche ja schon vor über 30 Jahren stattgefunden haben [10].

Abschließend ist festzuhalten, dass die Konstruktion eines guten Schoners offensichtlich von mehreren Parametern abhängig ist: Es muss sowohl die Wirkung der Polsterung als auch die der Schale beachtet werden. Insgesamt hat die Untersuchung gezeigt, dass die meisten Schoners eine gute Dämpfungswirkung entfalten, auch wenn die Ergebnisse sehr unterschiedlich ausgefallen sind. Gerade in den unteren Kraftbereichen können einige Schienbeinschoner die Maximalkräfte um bis zu 90% reduzieren. Es wurde aber auch deutlich, dass noch Entwicklungsbedarf in Bezug auf die Dämpfungswirkung bei größeren Krafteinwirkungen besteht.

Weiterhin konnte in der Untersuchung zwar keine bessere Wirkung durch die zusätzlich eingebrachten neuen Materialien erreicht werden, aber es ist deutlich geworden in welche Richtung man sich bei der Verbesserung eines Schienbeinschoners bewegen kann. Die Erfahrungen und Ergebnisse dieser Untersuchung können einen guten Ansatzpunkt für weitere Experimente zur Verbesserung bieten. OUP

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Walter van Laack
 Mühlenstr. 41-47
 52134 Herzogenrath
 E-Mail: Dr.vanLaack@web.de

Literatur

1. The Big Count. (2007, Juni 31). FIFA Communications Division: http://de.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoff-surv/bigcount.statspackage_7024.pdf
2. DFB Mitgliederstatistik 2010. (2010). Deutscher Fußball Bund: http://www.dfb.de/uploads/media/DFB-Mitglieder-Statistik-2010_01.pdf
3. Fußball-Regeln 2010/2011. (2010). Deutscher Fußball Bund: http://www.dfb.de/fileadmin/user_upload/2010/07/Fussball-regeln_2010_2011.pdf
4. Brinckmann, P., Frobin, W. & Leivseth, G. (2000). Orthopädische Biomechanik. Stuttgart: Thieme Verlag.
5. Francisco, A., Nightingale, R., Guilak, F., Glisson, R. & Garrett, W. (2000). Comparison of soccer shin guards in preventing tibia fracture. The American Journal of Sports Medicine, 28(2), 227-233.
6. Gorißen, P. (2011). Experimentelle Kraftmessungen als Beitrag zur Wirksamkeitsbeurteilung im Fußballsport. Bachelorarbeit. FH Aachen Campus Jülich
7. Henke, T. & Gläser, H. (2001). Sportunfälle Häufigkeit, Kosten, Prävention. ARAG Allgemeine Versicherungs-AG: <http://www.arag-sportversicherung.de/imperia/md/content/pdf/infobroschueren/sportunfaelle.pdf>
8. Platzer, W. (1999). Taschenatlas der Anatomie – 1 Bewegungsapparat. Stuttgart: Thieme Verlag.
9. Raschka, C. (1995). Vergleich von Unfallhergangstypen im Feld- und Hallenfußball. Sportverl. Sportschad., 9(3), 101-102.
10. van Laack, W. (1982). Experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit von Schienbeinschonern im Fußballsport. Dissertation. RWTH Aachen.
11. van Laack, W. (1985). Experimentelle verschiedener Schienbeinschonern im Fußballsport. Z. Orthop. Ihre Grenzgeb., 123(6), 95 1–956.
12. van Laack, W. (1985). Untersuchungen über die Druckverteilung durch Schienbeinschonern im Fußballsport. Z. Sportmed, 36(7), 203–208.
13. Wick, D. (2009). Biomechanik im Sport. Balingen: Spitta Verlag.