
Präventives Training und Diagnostik bei Schulterbeschwerden im Spitzensport (AZ 070103/10-11)

Julia F. Zandt¹, Knut Beitzel², Kirsten I. Beitzel³, Stefan Buchmann²,
Andreas B. Imhoff², Peter U. Brucker² (Projektleiter)
& Ansgar Schwirtz¹ (Projektleiter)

¹Technische Universität München, Fachgebiet für Biomechanik im Sport,

²Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar,
Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie

³Klinikum der Ludwig Maximilian Universität München,
Institut für Klinische Radiologie

Problem

Überkopf-Wurf- bzw. Schlagsportarten (wie z. B. Speerwurf, Baseball, Volleyball, Tennis, etc.) gehen aufgrund ihres spezifischen Bewegungsmusters mit einer hohen Belastung des Schultergelenks einher. Daher zeigen gerade Sportarten mit einem solchen Anforderungsprofil eine erhöhte Inzidenz an Überlastungsschäden und akuten Verletzungen des Schultergelenks (Burkhart, Morgan & Kibler, 2003a). Zurückzuführen ist dies auf die häufig wiederholt endgradigen Gelenkstellungen, welche zur Optimierung einer Wurf- / Schlagbewegung eingenommen werden müssen. Zusätzlich treten dabei extrem hohe Winkelgeschwindigkeiten mit maximaler resultierender Kraftwirkung auf.

Biomechanische Arbeiten zeigen, dass eine effektive Wurf- / Schlagtechnik zwangsläufig eine extreme Abduktions- und Außenrotationsbewegung des Schultergelenks erfordert, welche zu einer permanenten Überlastung der kapsulären sowie muskulären Strukturen führt (Fortenbaugh, Fleisig & Andrews, 2009). Insbesondere entsteht hierbei eine repetitive Überdehnung der vorderen Gelenkkapsel (Außenrotation in 90° Abduktion) und eine gleichzeitige Verkürzung der hinteren Kapselstrukturen (Innenrotation in 90° Abduktion) (Burkhart et al., 2003a). Durch einseitige Trainings- und Wettkampfbelastungen ergibt sich zusätzlich ein Ungleichgewicht der muskulären Kräftepaare des Schultergelenks. Dies zeigt sich v. a. im Kraftverhältnis der Außen- und Innenrotatoren innerhalb der Rotatorenmanschette (Wilk et al., 1993). Zusätzlich entstehen auf Grund der kinematischen Verkettung und der Verbindung des Schultergürtels mit dem Rumpf Störungen in der Koordination der „skapulothorakalen“ Muskelgruppen (Muskelverbindungen zwischen Schulterblatt und Rumpf) (Kibler, 1998). Diese strukturellen und koordinativen Veränderungen führen durch Störung der physiologischen Bewegungskoordination zu einem spezifischen krankhaften Zustand, welcher zusammenfassend als „Werferschulter“ bezeichnet werden kann. Das Beschwerdebild reicht von wiederkehrenden Schmerzen und Kraftverlust bis hin zu operationswürdigen Strukturschäden, welche schlussendlich in einem Ende der leistungssportlichen Aktivität oder zumindest einen langwierigen Trainingsausfall resultieren können.

In den letzten Jahren wird daher aus präventivmedizinischer Sicht vermehrt ein spezifisches Dehn- und Kräftigungsprogramm gefordert, welches unterstützend in den Trainingsprozess des Überkopf-Wurf- und Schlagsportlers bzw. der -sportlerin eingreifen soll. In Betracht zu ziehen ist hierbei besonders, dass die o. g. Veränderungen nach relativ kurzer Ausübungszeit der Sportart entstehen und daher bereits junge Nachwuchssportler bzw. -sportlerinnen gefährdet sind (Fleisig et al., 2011).

Ziel der durchgeführten Studie war die Entwicklung einer umfassenden klinischen Diagnostik und biomechanischen Analyse zur frühzeitigen Identifizierung von Risikofaktoren bei der nicht-symptomatischen, prätraumatischen Werferschulter von Nachwuchsleistungssportlern bzw. -sportlerinnen. Des Weiteren sollte ein Präventionsprogramm, speziell konzipiert für wurfähnliche Überkopfsportarten, zur nachhaltigen Reduktion von Schulterverletzungen und -beschwerden, prospektiv evaluiert werden. Dadurch soll eine langfristige Verletzungsprävention durch Reduktion der gegebenen Risikofaktoren erreicht werden.

Methode

Als Probandengut für diese Studie wurde jeweils eine Gruppe Überkopf-Wurfsportler (N = 16 männliche Speerwerfer; Alter $17,7 \pm 0,8$ Jahre; Range 16 – 19; davon haben 13 die Intervention absolviert) und eine Gruppe Überkopf-Schlagsportler (N = 16 männliche Volleyballspieler; Alter $16,9 \pm 1,0$ Jahre; Range 15 – 18; davon haben 14 die Intervention absolviert) ausgewählt. Die Teilnehmer nahmen seit mindestens 2 Jahren systematisch und planmäßig an Wettkämpfen auf Landesebene bis internationaler Ebene teil und hatten somit einen Kaderstatus zwischen D und B. Einschluss- sowie Ausschlusskriterien wurden zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung (EU) mittels Fragebogen, klinischer bzw. magnetresonanztomographischer Untersuchung verifiziert. Keiner der eingeschlossenen Probanden hatte zum Untersuchungszeitraum der EU akute Schmerzen an der Wurferschulter (Visuelle Analog Skala $0,6 \pm 1,1$ Punkte; Constant Score $93,8 \pm 5,0$ Punkte), eine schwerwiegende Verletzungsvorgeschichte oder strukturelle Schäden an der Wurfarmseite aufzuweisen.

Neben einer allgemeinen klinischen Untersuchung wurden vier experimentelle Verfahren eingesetzt, um ein möglichst vollständiges Bild der muskuloskelettalen Funktionalität des Gelenksystems zwischen Arm, Schulterblatt und Rumpf zu erhalten. Zum Ausschluss evtl. vorhandener, klinisch unauffälliger Pathologien im Schultergelenk erfolgte eine bildgebende Standard-Befundung mittels nativer 3 T-Magnetresonanztomographie (MRT; 3 Tesla Verio, Siemens Medical Solutions, Erlangen, GER) ausschließlich zum Zeitpunkt der EU. Eine Standard-3D-Bewegungsanalyse der Schulterblattkinematik kam mit Hilfe eines 6-Kamera VICONPeak-Systems (Oxford Metrics, West Way, Oxford, UK) zum Einsatz. Ergänzend erfolgte eine isokinetische Kraftdiagnostik mit dem Trainings- und Diagnosesystem IsoMed2000 (D&R Ferstl GmbH, Hemau, GER). Die Maximalkraft der Schulter Innen- und Außenrotatoren wurde dynamisch konzentrisch und exzentrisch in einer Gelenkstellung von 90° Abduktion in der Schulter getestet. Sämtliche Untersuchungen wurden an beiden Schultern durchgeführt, um intraindividuelle Seitenvergleiche zu erfassen.

Die Intervention bestand aus einem 8 - 12 monatigem Trainingsprogramm des Schultergürtels, unterteilt in einen Dehn- und ein Kräftigungsteil. Das Programm war in 4 aufeinander aufbauende Trainingsperioden unterteilt und sollte 2-mal wöchentlich absolviert werden (Zandt, 2012a, 2012b). Im Abstand von jeweils 2 - 3 Monaten fanden Verlaufskontrollen mittels Erhebung klinischer Scores und einer Befragung der Probanden statt. Nach Abschluss der Wettkampfphase, bzw. der letzten Phase des Kräftigungsprogramms schloss eine umfassende Ausgangsuntersuchung (AU) die Interventionsperiode ab.

Ergebnisse

Mittels nativer MRT-Diagnostik konnten zum Zeitpunkt der EU keine strukturellen Schäden der das Glenohumeralgelenk umgebenden Weichteilstrukturen nachgewiesen werden. Jedoch zeigten sich in 73,3 % der Speerwerfer knöcherne Zysten am posterosuperioren Humeruskopf der dominanten (dom) Wurfarmseite mit einem Durchmesser > 3 mm, aber nur in 13,3 % an der nicht-dominanten (ndom) Seite. Die Volleyballer hingegen hatten eine deutlich geringere Prävalenz mit 12,5 % an der dom und 6,3 % an der ndom Schulter. Die Ergebnisse der MRT-Diagnostik wurden im Journal of Shoulder and Elbow Surgery veröffentlicht (Beitzel et al., 2012).

Eine manuelle Messung der passiven Schulter-Innen- und Außenrotationsbeweglichkeit in 90° Schulter Abduktion (standardisiertes Goniometer Messverfahren mit dem Probanden in Rücklage) ergab die in Tab. 1 dargestellten Ergebnisse. Die Beweglichkeit der Innenrotation (IRO) und der Außenrotation (ARO) unterscheiden sich in beiden Gruppen und zu beiden Zeitpunkten signifikant ($p < .05$), die Gesamtbeweglichkeit (Total ROM) hingegen nicht. Im Längsschnitt von EU zu AU vermindern sich bei den Speerwerfern beidseits die passive IRO und Total ROM signifikant ($p < .05$), nicht aber die ARO. Die Volleyballer zeigen eine signifikante Vergrößerung der dom IRO, ndom ARO und dom Total ROM.

Tab. 1. Mittelwerte (MW \pm SD) der passiven Schulter-IRO, ARO und der Total ROM in 90° Schulter Abduktion von N = 13 Speerwerfern und N = 14 Volleyballspielern. Angaben in Grad [°].

	EU			AU		
	IRO	ARO	Total ROM	IRO	ARO	Total ROM
Speerwurf						
dominant	48 \pm 20	117 \pm 15	164 \pm 20	34 \pm 19	114 \pm 12	148 \pm 20
nicht-dominant	57 \pm 19	107 \pm 10	163 \pm 17	41 \pm 20	103 \pm 8	145 \pm 20
Volleyball						
dominant	38 \pm 13	114 \pm 16	152 \pm 9	48 \pm 10	112 \pm 10	160 \pm 10
nicht-dominant	54 \pm 9	99 \pm 7	153 \pm 8	58 \pm 11	103 \pm 7	161 \pm 13

Ein Teil der Ergebnisse der isokinetischen Kraftdiagnostik sind in Abb. 1 graphisch dargestellt. Es liegen in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen dom und ndom Schulter vor ($p > .05$). Von EU zu AU haben sich die Kraftwerte der Speerwerfer im Gesamtdurchschnitt verschlechtert (IRO dom -3,8 %, IRO ndom -3,6 %; ARO dom -9,9 % ARO ndom -10,1 %). Die Volleyballer zeigten uneinheitliche

Trends (IRO dom +3,3 %, IRO ndom -0,3 %, ARO dom -0,4 %, ARO ndom -6,8 %). Die Mittelwertsunterschiede waren in beiden Gruppen jedoch nicht statistisch signifikant ($p > .05$). Weitere Ergebnisse sind im Kongressband des 18. Kongresses der Europäischen Gesellschaft für Biomechanik (ESB2012), online veröffentlicht im Journal of Biomechanics, nachzulesen (Zandt et al., 2012).

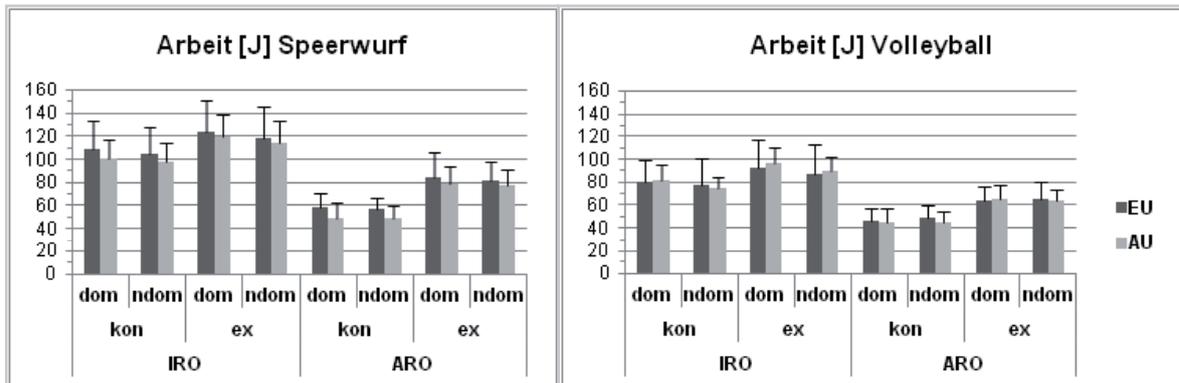


Abb. 1. Mittelwerte (MW \pm SD) der isokinetischen Kraftdiagnostik von N = 13 Speerwerfern und N = 14 Volleyballspielern. Hier dargestellt ist die konzentrische (kon) und exzentrische (ex) Arbeit [J] der Schulter Innen- (IRO) und Außenrotatoren (ARO) im Seitenvergleich. Angaben in Joule [J].

Repräsentativ für die umfangreichen Ergebnisse aus der 3D-Bewegungsanalyse der Skapulakinematik werden in Tab. 2 lediglich die über alle Probanden (EU: N = 32; AU: N = 27) und 3 Versuche der EU gemittelten Werte der räumlichen Lage und -Orientierung der Schulterblätter in ihrer anatomischen Ruheposition in Bezug auf den Rumpf dargestellt.

Tab. 2. *Räumliche Schulterblatt Lage und Orientierung in ihrer anatomischen Ruheposition in Bezug auf den Rumpf. Durchschnittliche Werte über alle Probanden und 3 Versuche. Angaben in Grad [°].*

Skapula Lage und Orientierung	EU	AU
Upward rotation		
dominant	2,9	3,2
nicht-dominant	2,0	2,8
Internal rotation		
dominant	29,7	29,9
nicht-dominant	31,6	30,7
Anterior tilt		
dominant	17,5	17,2
nicht-dominant	15,4	15,8
Retraktion		
dominant	18,0	18,4
nicht-dominant	16,3	17,7
Elevation		
dominant	7,2	7,6
nicht-dominant	8,1	8,1

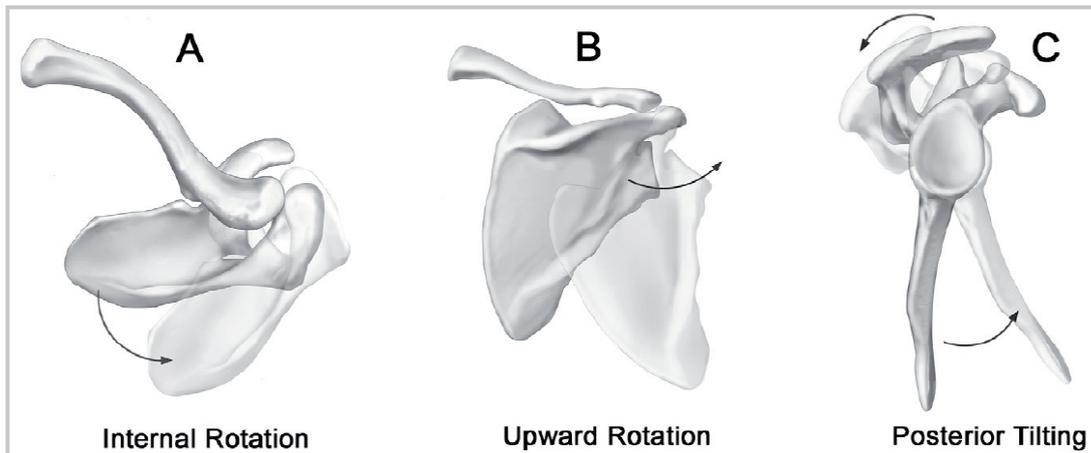


Abb. 2. 3D-Bewegung der rechten Skapula. Pfeilrichtung: A) Innenrotation; B) Aufwärts Rotation; C) Kippung nach hinten.
Aus Ludewig et al. (2009, S. 381)

Bezüglich der Trainingsintervention haben die Speerwerfer die Dehnübungen durchschnittlich 8,6-mal pro Monat und die Kräftigungsübungen 4,8-mal pro Monat durchgeführt. Die Volleyballspieler hingegen im Mittel 6,5-mal Dehnung und 6,2-mal Kräftigung pro Monat. Lediglich 6/13 Speerwerfer und 6/14 Volleyballspieler, welche die Intervention inklusive Follow-up Untersuchung vollständig absolviert haben, haben Dehn- und Kräftigungsübungen ausreichend oft absolviert, um einen messbaren Trainingseffekt erwarten zu können (d. h. durchschnittlich mind. 8-mal pro Monat Dehnung und 4-mal pro Monat Kräftigung).

Diskussion

Erstmals wurden im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie die Schultergelenke von leistungssportlichen Speerwerfern prospektiv klinischen und biomechanischen Untersuchungen unterzogen. Auch bei leistungssportlichen Volleyballern wurde bisher keine derartig umfangreiche Kombination an verschiedenen experimentellen Verfahren eingesetzt, um das Phänomen der asymptomatischen Werferschulter aus einer möglichst multifaktoriellen Sicht zu erfassen. Zu den intrinsischen Risikofaktoren für die Entwicklung einer degenerativen Werferschulter werden gezählt: Einschränkung der Beweglichkeit, muskuläre Dysbalance und Schwäche und Skapula-Asymmetrie (Burkhart et al., 2003a, 2003b; Kibler, 1998; Wang & Cochrane, 2001). Einer vorliegenden Skapula-Asymmetrie wird eine verletzungsprädisponierende Rolle zugeschrieben, wenn das Schulterblatt im Vergleich zur Gegenseite weniger Upward Rotation, und mehr Internal Rotation, Anterior Tilt, Protraktion und Elevation aufweist (Burkhart et al., 2003b; Wang & Cochrane, 2001). Zum Zeitpunkt der EU zeigten 18/32 (56 %) Sportler ein glenohumerales IRO-Defizit (GIRD) von $\geq 15^\circ$, 8/32 (25 %) eine Schwäche der Außenrotatoren $> 5\%$ in Relation zur Gegenseite, 16/21 (76 %) ein sportartspezifisches Kraftverhältnis ARO ex / IRO kon von weniger als 0,8. Diese Werte sind vergleichbar mit Angaben aus der vorliegenden Literatur und können daher als Frühzeichen zur Entwicklung einer symptomatischen Werferschulter klassifiziert werden (Burkhart et al., 2003a; Wang & Cochrane, 2001).

Bezüglich der statischen Ruheposition der Schulterblätter sehen wir im Gesamtdurchschnitt einen vermehrten Anterior Tilt und Depression auf der dom Seite. Allein aufgrund dieser zwei ungünstigen Faktoren lässt sich allerdings noch nicht auf ein erhöhtes Verletzungsrisiko schließen. Im Vergleich der beiden Gruppen lässt sich feststellen, dass die Volleyballer eine signifikant geringere Prävalenz an posterosuperioren Humeruszysten und ein niedrigeres Kraftniveau der Innen- und Außenrotatoren aufweisen, die Schulterbeweglichkeit und Kinematik jedoch in beiden Gruppen größtenteils ähnlich sind. Damit steht weiterhin die Frage im Raum, ob Volleyballspieler und Speerwerfer hinsichtlich ihres biomechanischen Schulter-Profiles gleichermaßen der Population der „Überkopf-Wurfsportler“ zugewiesen werden können oder differenziert betrachtet werden müssen. Diese Kenntnis würde Trainern und Klinikern in der zielgerichteten Prävention und Rehabilitation sportartspezifischer Anpassungserscheinungen und Verletzungen im Schultergürtel helfen.

Hauptziel des Interventionsprogramms war eine Normalisierung / Optimierung der o. g. Risikofaktoren. In der Annahme, dass Testpersonen mit guter Compliance bessere Interventionseffekte zeigen müssten, wurde im Nachhinein eine Selektion durchgeführt. Diejenigen Sportler, welche das Dehnprogramm ausführlich absolviert haben (12/27; 44 %), zeigen im Längsschnitt jedoch ebenfalls keine signifikante Veränderung der Beweglichkeit. Dennoch haben insgesamt nur noch 10/27 (37 %) Sportler ein GIRD $\geq 15^\circ$ in der AU – im Vergleich zu 56 % bei der EU. 23/27 (85 %) Sportler haben die Kräftigungsübungen ausreichend oft trainiert, dennoch haben sich die isokinetischen Kraftwerte auch in der Compliance-selektierten Gruppe tendenziell verschlechtert (signifikant nur in der konzentrischen ARO-Kraft). Im Gesamtdurchschnitt ergeben sich auch in der Skapula-Kinematik überwiegend keine signifikanten Veränderungen. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass eine Interpretation von präventiven Trainingseffekten auf Basis von Gruppenmittelwerten kleiner Stichproben kaum möglich ist. Auf individueller Ebene können Trainingseffekte unter Berücksichtigung aller peripheren Einflussfaktoren besser beurteilt und zielführend gesteuert werden. In der Einzelfalldiagnostik könnte sich eine kombinierte klinische und biomechanische Testbatterie, wie sie in dieser Studie zum Einsatz kam, als durchaus hilfreich erweisen, um Risikofaktoren zur Entwicklung einer Werferschulter beim asymptomatischen Überkopf-Wurf- oder Schlagsportler bzw. bei der -sportlerin frühzeitig zu identifizieren und im Langzeitverlauf zu kontrollieren. Es wäre daher auf lange Frist wünschenswert, eine solche Testbatterie in der Routine-Diagnostik von Kader-Leistungssportlern bzw. -sportlerinnen und eine konsequente Implementierung eines präventiven Trainingsprogramms in die Rahmentrainingspläne der nationalen Sportverbände zu etablieren. Um die verletzungsprophylaktische Wirkung von bestimmten Übungen direkt nachzuweisen, müssten Daten im Rahmen einer kontrollierten Langzeitstudie an einem möglichst großen, homogenen Kollektiv an Leistungssportlern bzw. -sportlerinnen gesammelt werden.

Literatur

- Beitzel, K., Beitzel, K. I., Zandt, J. F., Buchmann, S., Schwirtz, A., Imhoff, A. B., Reiser, M. & Brucker, P. U. (2012). Premature cystic lesions in shoulders of elite junior javelin and volleyball athletes: a comparative evaluation using 3.0 Tesla MRI. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons, In Press*.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D. & Kibler, W. B. (2003a). The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part I: pathoanatomy and biomechanics. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association, 19* (4), 404–420.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D. & Kibler, W. B. (2003b). The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association, 19* (6), 641–661.
- Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Cutter, G. R., Weber, A., Loftice, J., McMichael, C., Hassell, N. & Lyman, S. (2011). Risk of serious injury for young baseball pitchers: a 10-year prospective study. *The American journal of sports medicine, 39* (2), 253–257.
- Fortenbaugh, D., Fleisig, G. S. & Andrews, J. R. (2009). Baseball Pitching Biomechanics in Relation to Injury Risk and Performance. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach, 1* (4), 314–320.
- Kibler, W. B. (1998). The role of the scapula in athletic shoulder function. *The American journal of sports medicine, 26* (2), 325-37.
- Ludewig, P. M., Phadke, V., Braman, J. P., Hassett, D. R., Cieminski, C. J. & Laprade, R. F. (2009). Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume, 91* (2), 378–389.
- Wang, H. K. & Cochrane, T. (2001). Mobility impairment, muscle imbalance, muscle weakness, scapular asymmetry and shoulder injury in elite volleyball athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 41* (3), 403–410.
- Wilk, K. E., Andrews, J. R., Arrigo, C. A., Keirns, M. A. & Erber, D. J. (1993). The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *The American journal of sports medicine, 21* (1), 61-66.
- Zandt, J. F. (2012a). Die Wurf Schulter gezielt gesund erhalten. Teil 1. *Leichtathletik-training, 4*, 21–27.
- Zandt, J. F. (2012b). Die Wurf Schulter gezielt gesund erhalten. Teil 2. *Leichtathletik-training, 5*, 24–30.
- Zandt, J. F., Brucker, P. U., Beitzel, K., Buchmann, S., Imhoff, A. B. & Schwirtz, A. (2012). Functional Strength-Mobility Correlation of the Shoulder Rotators in Junior Volleyball Players. *Journal of biomechanics, 45* (1), 554.