

# Komplexe biomechanische Analyse der Sprungtechnik im Beachvolleyball – Anforderungsprofil und trainingsmethodische Empfehlungen

(AZ 070802/19)

Frese, C., Bubeck, D., Milecik, K., Schlechtweg, S. & Alt, W. (Projektleitung)

Universität Stuttgart, Biomechanik und Sportbiologie, Stuttgart, Deutschland

## 1 Einleitung

Beachvolleyball zählt zu den erfolgreichen olympischen Sportarten im deutschen Spitzensport. Um der Attraktivität der Sportart gerecht zu werden, existiert für die Nachwuchsathleten und -athletinnen des Deutschen Volleyballverbandes (DVV) eine Empfehlung, sowohl in der Halle als auch im Sand zu trainieren. Die unterschiedlichen Untergründe beeinflussen die Bewegungsdynamik und -steuerung. Es wird vermutet, dass der sandige Untergrund aufgrund der geringeren Stabilität ein höheres Verletzungs- und Schädigungsrisiko für die Athletinnen und Athleten darstellt (Barrett, Neal & Roberts, 1998). Dies zeigt sich in der Praxis am Olympiastützpunkt in Stuttgart darin, dass den Trainern eine Anhäufung von chronischen und akuten Verletzungen der unteren Extremität beim Wechsel von der Halle- auf Sandböden aufgefallen ist.

Da auch die Hallen-Volleyballer und -volleyballerinnen eine sehr hohe Inzidenz von vorderen Knieschmerzen haben, gab es bereits viele Forschungsgruppen, die sich mit Risikofaktoren beschäftigt haben. Dennoch sind die bisherigen Erkenntnisse zu Risikovariablen sehr diffus. In einem Review werden 37 Risikovariablen im Zusammenhang mit vorderen Knieschmerzen genannt.

Dabei hatten die Studien folgendes gemein:

- › Der Fokus lag auf dem Angriffsschlag. Blockbewegungen oder Sprungaufschläge wurden seltener untersucht (Richards et al., 1996; Harris et al., 2020).

- › Es wurde sich in der Regel auf die Hüft- und Kniegelenksdynamik konzentriert (Richards et al., 1996; Harris et al., 2020).
- › Im Vordergrund standen die horizontale und vertikale Landephase. Die „horizontale Landephase“ geschieht in der Absprunghase, nachdem das Stemmbein Bodenkontakt aufgenommen hat. Die vertikale Landephase beschreibt die Landung nach der eigentlichen Flugphase (Richards et al., 1996).

Aus den Untersuchungen gehen folgende Erkenntnisse hervor:

- › Die Absprunghase scheint relevant für die Ausbildung von Knieschmerzen zu sein. Sowohl die Spitzenbelastung, das Außenrotationsmoment als auch das Inversionsmoment des Stemmbeines sind signifikante Prädiktoren für vordere Knieschmerzen (Richards et al., 1996).
- › In der Landephase werden die bisherigen Risikofaktoren sehr kontrovers diskutiert (Harris et al., 2020).

Folgende Aspekte wurden bei den bisherigen Studien noch gar nicht untersucht:

- › Die Bewegungsdynamik in echten Feldbedingungen, da alle Studien im Labor durchgeführt wurden (Problem: sehr geringe Sandhöhe). Folglich gibt es keine Erkenntnisse zur Bewegungsdynamik in der Halle oder auf dem Sand.
- › Die neuromuskuläre Ansteuerung im Angriffsschlag. Hierzu gibt es weder Ergebnisse aus Labor- noch Feldbedingungen. Folglich gibt es auch keine Resultate über Gruppenunterschiede von Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen beim Angriffsschlag auf unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten. Elektromyographische Untersuchungen wurden nur in diagnostischen Tests durchgeführt. Dort häufen sich die Hinweise, dass das M. vastus medialis (VM)/M. vastus lateralis (VL)-Verhältnis bei Patienten mit vorderen Knieschmerzen im Vergleich zu Gesunden erniedrigt ist (Bley et al., 2014).

Ziel des Projektes war es zu untersuchen,

- › inwieweit die Bewegung und die Ansteuerungsprofile von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden,
- › ob Gruppenunterschiede in kinematischen, kinetischen und neuromuskulären Parametern bei Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne Knieschmerzen auftreten und
- › ob diese Unterschiede von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden.

## 2 Methode

Es wurde eine Querschnittsstudie mit 20 VolleyballerInnen durchgeführt. Davon waren 11 nicht und 9 von Knieschmerzen betroffen, (zwei Spielerinnen mit bilateralen Beschwerden). Alle trainierten am Olympiastützpunkt Stuttgart im Nachwuchskader (14-23 Jahre), vierzehn davon primär in der Halle und vier im Sand.

Für die komplexe biomechanische Analyse von volleyballspezifischen Sprüngen wurden die Athletinnen und Athleten mit einem auf inertial-measurement-units (IMU) bestehenden Bewegungsanalysesystem (MyoMotion, Noraxon), mit Druckmesssohlen (MediLogic, T&T Medizintechnik GmbH, Schönefeld, Germany) und mit Oberflächen-EMG (Noraxon) ausgestattet. Das Bewegungsanalysesystem erfasste die Bewegung der unteren Extremität. Die Druckmesssohlen befanden sich unter dem Fuß im Schuh (Hallenbedingung) oder wurden mit Kompressionssocken (Sandbedingung) fixiert. Abgeleitet wurden der VM und VL. Die Messungen fanden in randomisierter Reihenfolge in der Halle und auf zwei Sandfeldern statt, die mit unterschiedliche Sandsorten aufgefüllt waren. Im Vergleich von „Sand 1“ und „Sand 2“ wurde der „Sand 1“ subjektiv von den Athleten als härter wahrgenommen. Der „Sand 2“ wurde vor ein paar Jahren extra zur Vorbereitung auf die Olympischen Spiele in Rio angelegt, und die Beschaffenheit gleicht der Körnung des Sandes in Rio. Auf allen drei Feldbedingungen wurden diagnostische und volleyballspezifische Sprünge durchgeführt.

Zu den diagnostischen Sprüngen gehörte der **Counter Movement Jump** (ohne und mit Armschwung). Beim Countermovement Jump (CMJ) starten die Athletinnen und Athleten in einer gestreckten Position. In der Absprunghase wird zunächst der Körperschwerpunkt durch eine Beugung der Knie und Hüfte abgesenkt. Durch eine Streckbewegung wird Energie für den Absprung generiert. Beim CMJ ohne Arme werden die Hände in die Hüfte gestemmt. Beim CMJ mit Armen können die Athleten die Arme frei bewegen

Die volleyballspezifischen Sprünge umfassten zum einen den **Blocksprung**. Beim Blocksprung stehen die Athleten vor dem Netz. Beim Start

befinden sich die Hände vor der Brust. Die Athletinnen bzw. Athleten springen aus dem Stand nach oben und drücken beide Hände gegen einen gehaltenen Ball. Die Ballhöhe wird individuell durch 3-5 Testsprünge festgelegt.

Zum anderen gehörte zu den volleyballspezifischen Sprüngen der **Angriffssprung** vorne am Netz, welcher positionsspezifisch durchgeführt wurde.

Die drei Angriffssprünge wurden in drei Varianten durchgeführt:

- (I) Der Ball wurde aus einer speziellen Haltevorrichtung (Spikomat) geschlagen. Beim Angriff können die Athletinnen bzw. Athleten ihre individuelle Stemmtechnik einsetzen. Es gibt keine Vorgaben. Die Ermittlung der passenden Ballhöhe im Spikomaten erfolgt durch 3-5 Testsprünge. So konnte eine hohe Standardisierung der Messbedingungen erzielt werden.
- (II) Der Ball wurde angeworfen. Beim Angriff können die Athletinnen bzw. Athleten ihre individuelle Stemmtechnik einsetzen. Es gibt keine Vorgaben. Für das Timing von WerferInnen und SpielerInnen wurden etwa 5 Probeläufe durchgeführt. In der Messung mussten drei erfolgreiche Versuche aufgezeichnet sein. Der Versuch wurde als erfolgreich definiert, wenn WerferInnen und AngreiferInnen den Versuch als subjektiv gut empfanden.
- (III) Der Ball wurde angeworfen und die Athletinnen bzw. Athleten mussten reaktiv in eine bestimmte Richtung schlagen. Der Ablauf ist wie in Variante (II). Zusätzlich steht auf der gegnerischen Seite ein „Verteidiger“. Nach Anwurf des Balles läuft diese/r aus der Mitte nach rechts oder links. Die AngreiferInnen müssen reaktiv longline oder diagonal auf die leere Feldseite schlagen. Dafür mussten die AthletInnen erkennen, ob sich die Person auf der gegenüberliegenden Seite nach rechts oder links bewegte.

Variante (II) und (III) sollten die realen Feldbedingungen besser reflektieren.

Für die Analyse wurde bei guter Datenqualität immer der erste Sprung verwendet. Lagen im EMG-Artefakte vor, wurde der zweite Sprung analysiert.

Die Daten wurden in der Noraxon- Software auf ihre Qualität geprüft und anschließend aus der Noraxon-Software exportiert.

Mit Hilfe von Matlab wurden in der Datenanalyse ausgewertet:

- › kinetische Variablen, die das Maximum, die Loading rate und den Kraftstoß umfassten,
- › kinematische Kenngrößen wie der maximale Knieflexionswinkel, die Bodenkontaktzeit und die Sprunghöhe und
- › elektromyographische Variablen in Form vom VM/VL-Verhältnis.

Dafür wurde die durchschnittliche EMG-Aktivität des VM und des VL über die Standphase ins Verhältnis gesetzt. Zwei abgeleitete volleyballspezifische Kenngrößen sind die „close-time“ und die „Streckzeit“. Die „close-time“ beschreibt den Zeitraum vom Einstemmen des Stemmbeines bis zum Nachsetzen des Beistellbeines in der Absprungphase. Sobald beide Beine Bodenkontakt haben, beginnt die „Streckzeit“. Diese endet mit dem Absprung. Signifikante Gruppenunterschiede wurden mit dem Whitney-U-Test ermittelt. Wechselbeziehungen im VM/VL-Verhältnis zwischen den Sprungformen wurden mit einer Pearson-Korrelationsanalyse ermittelt. In den folgenden Ergebnisdarstellungen werden nur die Variablen mit den größten Unterschieden vorgestellt.

## 3 Ergebnis

Auf Grund von technischen Problemen konnten nur 18 VolleyballerInnen ausgewertet werden. Neun davon waren von Knieschmerzen betroffen und die anderen neun nicht.

### 3.1 Unterschiede in der Bewegungsdynamik durch die Bodenbeschaffenheit

Die größten Unterschiede zwischen den drei Untergrundbedingungen zeigten sich im Angriffsschlag (Abb.1), insbesondere im Stemmbein.

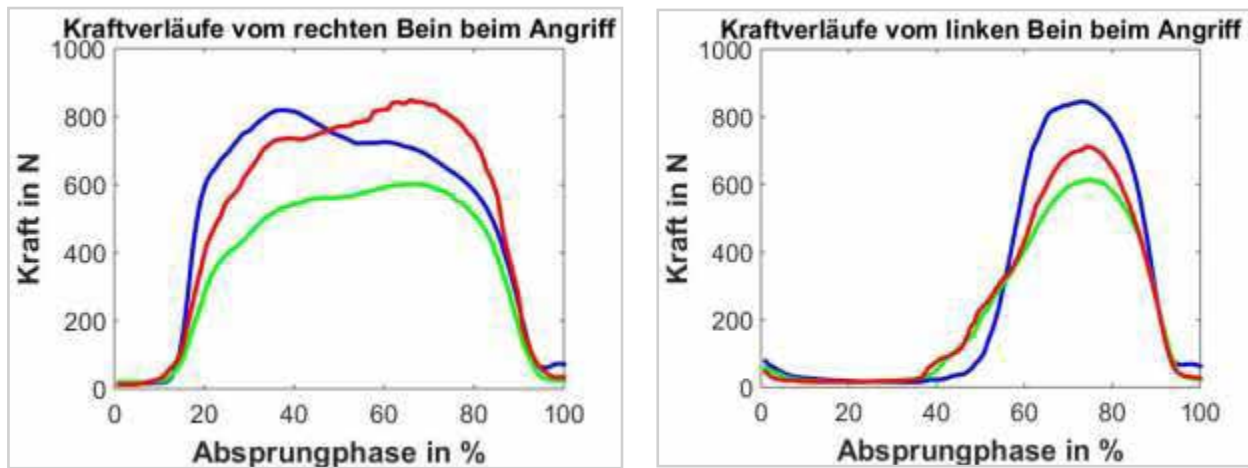


Abb. 1: Kraftkurven vom Stemm- und Beistellbein im Angriff in den drei Untergrundbedingungen "Halle" (blau), "Sand 1" (rot) und "Sand 2" (grün). Die linke Abbildung stellt den Verlauf des Stemmbaines dar, welches in diesem Probandenkollektiv immer das rechte war. Dementsprechend war das Beistellbein immer das linke. Dies ist in der rechten Abbildung dargestellt. Das Stemmbein unterscheidet sich in den Kraftverläufen zwischen den drei Untergrundbedingungen stärker als das Beistellbein. Auffällig ist die deutlich frühere Kraftspitze in der Halle im Vergleich zu den beiden Sandbedingungen. Des Weiteren ist die Differenz der Kraftspitze zwischen den beiden Sandsorten größer (rot und grün) als zwischen der Halle und den beiden Sandsorten. Beim Beistellbein liegen die Kraftspitzen in den beiden Sandbedingungen relativ nahe aneinander und sind deutlich kleiner als in der Halle.

- (I) Während die Form der Kraftkurven vom Beistellbein in der Halle und in den beiden Sandbedingungen sehr ähnlich ist, zeigt sich beim Stemmbein in der Halle ein sehr frühes Maximum der Kraft mit einem steilen Anstieg der Loading rate und einem langsam abfallenden Plateau nach dem Maximum und in den beiden Sandbedingungen ein flacherer Anstieg der Loading rate, einem langsam ansteigenden Kraftplateau und einem späten Kraftmaximum.
- (II) Die Differenz der Spitzenbelastung zwischen den beiden Sandsorten war größer als zwischen den beiden Sandsorten und der Halle.
- (III) Während in der Sandbedingung 2 die Beine gleich stark eingesetzt wurden, wurde in der Sandbedingung 1 insbesondere das Stemmbein für die Kraftentwicklung eingesetzt. Im Gegensatz zum Stemmbein, hat sich beim Beistellbein die Bodenkontaktzeit um etwa 10 % verlängert. Damit wurde die close-time von 200 ms auf 150 ms reduziert und die Streckzeit von 200 ms auf etwa 250 ms erhöht. Außerdem ist der Knieflexionswinkel des Beistellbeins um etwa 5-10° im Vergleich zur Hallenbedingung erhöht.

In dem Blocksprung und den diagnostischen Sprüngen zeigten sich ähnliche Trends, aber nicht einheitlich und nicht so ausgeprägt. Dass der Einfluss der Bodenbeschaffenheit beim Angriff am größten ist, zeigt sich auch in der Sprunghöhe. Während in den CMJs und beim Block nur eine geringe Höhendifferenz von 2-3 cm zwischen Halle und den beiden Sandbedingungen vorliegt, sind die Höhendifferenzen von 8-11 cm bei den Angriffsschlägen ausgeprägter. Des Weiteren zeigt sich der Trend, dass die Sprunghöhe im Angriff mit zunehmender Komplexität (Variante II und III) in allen drei Untergrundbedingungen abnimmt.

### 3.2 Unterschiede von Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen

Bei allen unilateral betroffenen Athletinnen bzw. Athleten war nur das Stemmbein betroffen, und bei den beiden bilateral Betroffenen war die Schmerzsymptomatik auf dem Stemmbein größer als auf dem Beistellbein. Die größten Unterschiede zwischen den betroffenen und nicht betroffenen Spielerinnen bzw. Spielern zeigten sich in der Sprunghöhe und in der neuromuskulären Ansteuerung des Stemmbaines. Durchschnittlich war bei allen Sprungformen

unabhängig von der Bodenbeschaffenheit die Sprunghöhe von den betroffenen Athletinnen bzw. Athleten um etwa 5 cm größer. Darüber hinaus hatten die Probanden mit vorderen Knieschmerzen ein kleineres VM/VL-Verhältnis auf dem Stemmbein als die nicht Betroffenen. Der Whitney-U-Test ergab in acht Sprungformen einen signifikanten Unterschied. In fünf Sprungformen gab es bei den betroffenen Athletinnen und Athleten eine signifikante Differenz zwischen dem Stemm- und Beistellbein (Tab. 1). In den kinetischen und kinematischen Variablen zeigten sich keine durchgehenden Gruppenunterschiede über die drei Feldbedingungen.

## 4 Diskussion

Ziel dieses Projektes war es:

- (I) kinetische, kinematische und neuromuskuläre Unterschiede in diagnostischen und volleyballspezifischen Bewegungen auf drei Bodenbeschaffenheiten aufzuklären und
- (II) Unterschiede zwischen Volleyballerinnen bzw. Volleyballern mit und ohne vordere Knieschmerzen herauszufinden.

Tab. 1: VM/VL-Verhältnis von allen Sprungformen auf allen Untergrundbedingungen

	Halle			Sand 1			Sand 2		
	PFP	PFP	Gesund	PFP	PFP	Gesund	PFP	PFP	Gesund
	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein
CMJ ohne Arme	0,72 ± 0,59	3,71 ± 1,91*	1,16 ± 0,59	0,80 ± 0,49	0,84 ± 0,44	1,28 ± 0,49	1,28 ± 0,51	0,91 ± 0,46	1,28 ± 0,51
CMJ mit Armen	0,76 ± 0,45	0,77 ± 0,42*	1,08 ± 0,45*	0,82 ± 0,54	0,83 ± 0,54*	1,19 ± 0,54*	0,74 ± 0,53	0,90 ± 0,45	1,19 ± 0,53
Block	0,76 ± 0,51	0,79 ± 0,46	1,20 ± 0,51	0,84 ± 0,64	0,89 ± 0,66*	1,60 ± 0,64*	0,77 ± 0,53	0,93 ± 0,46*	1,24 ± 0,53 <sup>+</sup>
statischer Angriff	0,72 ± 0,36	0,84 ± 0,48	1,31 ± 0,99	0,72 ± 0,37	0,83 ± 0,46	1,05 ± 0,57	0,68 ± 0,37	1,06 ± 0,65	1,23 ± 0,82 <sup>+</sup>
dynamischer Angriff	0,76 ± 0,40	0,95 ± 0,54	1,12 ± 0,72	0,81 ± 0,42	1,00 ± 0,60	1,05 ± 0,61	0,64 ± 0,37	0,88 ± 0,54	1,32 ± 0,72 <sup>+</sup>
reaktiver Angriff	0,69 ± 0,33	0,74 ± 0,41	1,01 ± 0,51	0,74 ± 0,39	1,25 ± 0,67	1,05 ± 0,64 <sup>+</sup>	0,71 ± 0,38	1,07 ± 0,69	1,43 ± 0,77 <sup>+</sup>

\* signifikanter Unterschied zwischen dem Stemm- und dem Beistellbein der betroffenen Athletinnen und Athleten

+ signifikanter Unterschied zwischen dem Stemmbein der betroffenen und nicht betroffenen Athletinnen und Athleten

### 3.3 Neuromuskuläre Unterschiede sind konstant über verschiedene Sprungformen

Pearson Korrelationsanalysen zeigen, dass es eine hohe Korrelation von dem VM/VL-Verhältnis zwischen den diagnostischen Tests und den Angriffssprüngen gibt. In Abb. 2 (Seite 6) sind das VM/VL-Verhältnis des Stemmbeins im CMJ ohne Arme ( $r = 0,78$ ) und des CMJ mit Armen ( $r = 0,89$ ) in Relation zum VM/VL-Verhältnis des Stemmbeines im Angriff dargestellt.

Zentrale und neue Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes sind folgende:

- Veränderungen im Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit sind nicht über alle Sprungformen konsistent. Während in den CMJs und im Block nur geringe Unterschiede bestehen, zeigen sich im Angriff, insbesondere im Stemmbein, große Differenzen in kinetischen und im Beistellbein vorwiegend in kinematischen Variablen.

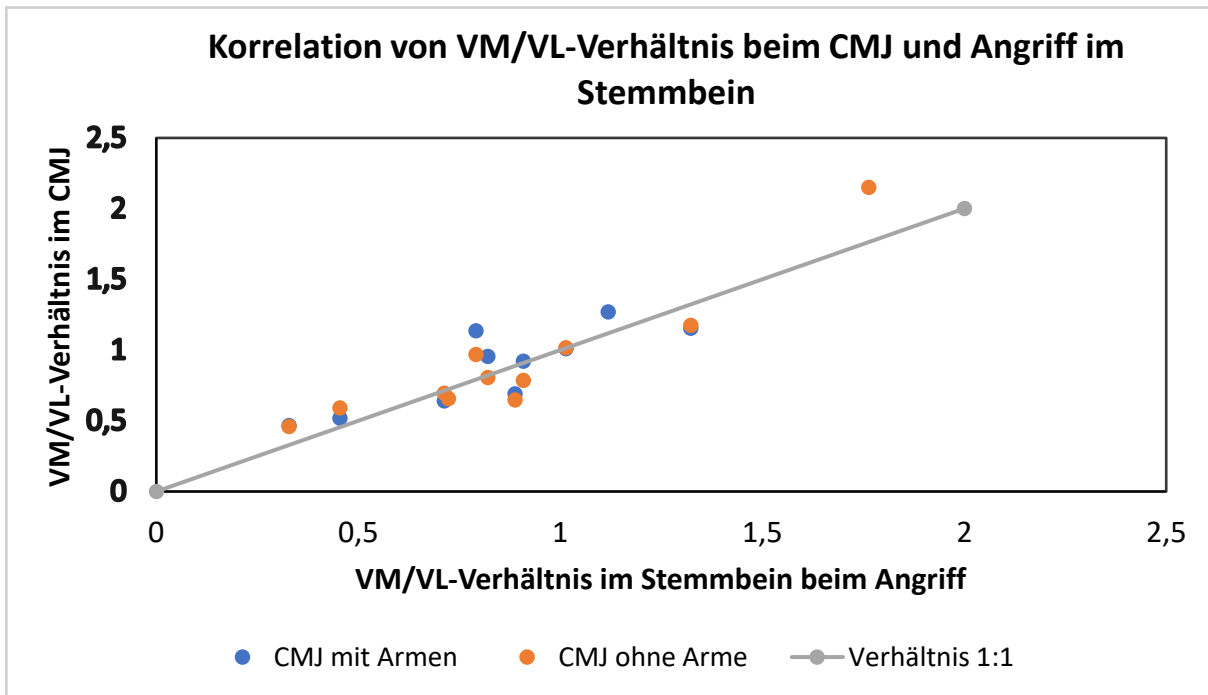


Abb. 2: Pearson-Korrelation vom VM/VL-Verhältnis vom Stemmbein beim Angriff und des entsprechenden Beines in den beiden CMJs (mit und ohne Armschwung) in der Halle.

Dabei scheint in der Angriffsbewegung die Sandkörnung einen maßgeblichen Einfluss auf die kinetischen Kenngrößen des Stemmbeines zu haben. Damit bestätigen wir vorangegangene Untersuchungen in den diagnostischen Tests (Giatsis et al., 2018; Bishop, 2003) und liefern neue Erkenntnisse in Bezug auf die Angriffsbewegung auf verschiedenen Sandböden.

- Mit diesen Ergebnissen werden Befunde aus der Literatur bestätigt, dass Athletinnen und Athleten mit Knieschmerzen eine veränderte neuromuskuläre Ansteuerung haben. Darüber hinaus zeigte sich erstmals auch, dass sich eine Dysbalance der neuromuskulären Ansteuerung in diagnostischen Tests auch in sportartspezifischen Situationen widerspiegelt.

Obwohl keine kinetischen Differenzen zwischen Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen auf den drei Untergründen gefunden wurden, ist es auffällig, dass alle Athletinnen und Athleten die Schmerzen auf dem Stemmbein hatten, welches die größten Differenzen zwischen den drei Untergründen aufwies. Da die neuromuskulären Unterschiede nicht von den Bodenbeschaffenheiten beeinflusst wurden, ist nicht davon auszugehen, dass diese beim Transfer von Halle in den Sand die Ursache, sondern eher eine Folge sind. Prospektive Studien sind erforderlich, um die Angriffstechnik von Athleten und Athletinnen in Halle und Sand zu untersuchen. Dann könnten ggf. bei Spielerinnen bzw. Spielern, die zukünftig von der Halle primär in den Sand umsteigen, Risikofaktoren für vordere Knieschmerzen im Sand besser aufgeklärt werden. Der Fokus sollte auf dem Stemmbein in der Absprungbewegung liegen.

## 5 Literatur

- Barrett, R. S., Neal, R. J., & Roberts, L. J. (1998). The dynamic loading response of surfaces encountered in beach running. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 1(1), 1-11.
- Bishop, D. A. (2003). comparison between land and sand-based tests for beach volleyball assessment. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 43(4), 418-423.
- Bley, A. S., Correa, J. C. F., Reis, A. C., D., Rabelo, N. D. D. A., Marchetti, P. H., & Lucareli, P. R. G. (2014). Propulsion Phase of the single leg triple hop test in women with patellofemoral pain syndrome: A biomechanical study. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097606>
- Giatsis, G., Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2018). Biomechanical differences of arm swing countermovement jumps on sand and rigid surface performed by elite beach volleyball players. *Journal of Sports Sciences*. DOI:10.1080/02640414.2017.1348614
- Harris, M., Schultz, A., Drew, M. K., Rio, E., Adams, S., & Edwards, S. (2020). Thirty-seven jump-landing biomechanical variables are associated with asymptomatic patellar tendon abnormality and patellar tendinopathy: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 45, 38-55.
- Richards, D. P., Ajemian, S. V., Wiley, J. P., & Zernicke, R. F. (1996). Knee joint dynamics predict patellar Tendinitis in elite volleyball players. *American Journal of Sports Medicine*, 24(5), 676-683.