

## Analyse von Wettkampfstruktur, Belastungs- und Beanspruchungsprofilen im Beachhandball

### 1. Zielstellung

Das Ziel des Projekts bestand darin:

- zu untersuchen, wie hoch die **Belastungen** von Spielerinnen und Spielern im Wettkampf im Beachhandball sind.
- anhand der Ergebnisse das **Training besser zu steuern** und im **Wettkampf zielführender zu handeln**.

### 2. Wen haben wir gemessen?

- 69 deutsche Beachhandballspieler (sowohl männlich als auch weiblich) der Bundeskader wurden im Zeitraum von August 2020 bis August 2021 gemessen.
- Insgesamt wurden 34 offizielle Spiele während vier nationaler Turniere analysiert.

### 3. Wie haben wir gemessen?

- Die Belastungsparameter wurden mit einem lokalen Positionssystem (**LPS**) und einem **Vector 7-IMA (inertiale Bewegungsanalyse)-Sensor** gemessen.
- **IMA** umfasst einen 3D-Beschleunigungsmesser, ein 3D-Gyroskop (Drehungen) und ein 3D-Magnetometer (Erkennung, wo „oben“ und „unten“ ist).



Quelle: <https://support.catapultsports.com/hc/en-us/articles/360000510856-What-is-IMA->

#### 4. Welche Parameter wurden erhoben?

##### Belastungsparameter gemessen via LPS (Positionsdaten)

1. Zurückgelegte Strecke (m)
2. Strecke pro Minute (m/min)
3. Die maximale Geschwindigkeit (km/h)

##### Belastungsparameter gemessen via IMA

1. **Gesamtbelastung** (PlayerLoad) und die **Belastung pro Minute** (PlayerLoad/Minute) des Spielers. Ist ein summatives Maß, das die Anzahl der Beschleunigungen, die ein Spieler erfährt, abschätzt und somit die biomechanische Belastung des Körpers in allen drei Ebenen beschreibt. Angegeben wird die Belastung in einer „willkürlichen“ Einheit (au, arbitrary unit).
2. (Maximale) **Beschleunigungen** (m/s<sup>2</sup> und Anzahl/min) und (maximale) **Abbremsbewegungen** (m/s<sup>2</sup> und Anzahl/min)
3. **Anzahl der explosiven Bewegungen pro Minute** (Anzahl/min)
4. **Richtungsänderungen** (Bewegungen innerhalb von 45° bis 135° nach rechts und Bewegungen innerhalb von -45° bis -135° nach links)
5. **Sprünge** (Anzahl/min)

→ für eine genauere Beschreibung der Parameter s. Parameterliste

Bei den Auswechslungen wurden die Zeiten außerhalb des Spielfelds nicht in die Analysen einbezogen. Um in die Datenanalyse einbezogen zu werden, mussten die Spieler **mindestens zwei Minuten** pro Spiel auf dem Spielfeld aktiv sein.

##### Für Analysen haben wir folgende Gruppen untereinander verglichen:

1. Untergruppe: Alter/Geschlecht  
→ U18 weiblich (<18 Jahre, N = 16), U18 männlich (<18 Jahre, N = 19) und Männer (≥18 Jahre, N = 34)
2. Untergruppe: Position  
→ Torwart, Verteidiger, Flügel, Spezialist und Pivot

##### Folgende Analysen haben wir durchgeführt:

1. Anthropometrischen Unterschiede zwischen den Untergruppen
2. Unterschiede in den externen Belastungsparametern zwischen dem ersten und zweiten Spielsatz
3. Unterschiede der Positionsdaten je nach Satz, Alter/Geschlecht und Position
4. Unterschiede der IMA-Daten je nach Satz, Alter/Geschlecht und Position

## 5. Ergebnisse

### Analyse 1: Anthropometrie

Tabelle 1: Anthropometrische Merkmale.

	Anzahl	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Gesamtstichprobe	69	187 ± 9	83,9 ± 11,5	23,9 ± 2,4
<b>Untergruppe 1: Alter/Geschlecht</b>				
U18 weiblich	16	176 ± 7	70,9 ± 7,9	22,9 ± 1,9
U18 männlich	19	188 ± 7	79,8 ± 6,6	22,5 ± 1,7
Männer	34	190 ± 7	90,8 ± 9,7	25,1 ± 2,3
<b>Untergruppe 2: Position</b>				
Torwart	12	186 ± 8	88,7 ± 12,9	25,7 ± 2,8
Verteidigung	20	190 ± 9	87,7 ± 12,7	24,2 ± 1,9
Flügel	11	192 ± 9	84,6 ± 8,6	22,9 ± 2,2
Spezialist	10	184 ± 7	81,1 ± 12,2	23,9 ± 2,4
Pivot	16	184 ± 8	77,8 ± 8,0	23,1 ± 2,5

#### Alter/Geschlecht:

Körpergröße: Weibliche U18 Spielerinnen unterscheiden erwartungsgemäß sich zu männlichen U18 Spielern und zu den Männern. Die beiden männlichen Gruppen unterscheiden sich jedoch nicht stark voneinander.

Gewicht: Alle Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Gewichts.

BMI: Die Männer zeigen einen leicht höheren BMI als die beiden U18 Gruppen.

#### Position:

Es konnten keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Positionen in der Körpergröße, dem Gewicht oder dem BMI festgestellt werden.

## Analyse 2: Unterschiede in den externen Belastungsparametern zwischen dem ersten und zweiten Satz

Die **fett** markierten Parameter in Tabelle 2 weisen auf einen Unterschied zwischen den beiden Sätzen, in Untergruppe 1 oder 2 hin.

Tabelle 2: Übersicht: Externe Belastungsparameter.

	Satz (1 vs. 2)		Untergruppe 1 (Alter/Geschlecht)		Untergruppe 2 (Position)	
	F	p	F	p <sup>#</sup>	F	p <sup>§</sup>
D/min [m]	1,60	0,207	3,95	<b>0,020</b>	11,09	< <b>0,001</b>
V <sub>MAX</sub> [km/h]	0,07	0,786	12,81	< <b>0,001</b>	3,91	<b>0,004</b>
PL/min [au]	4,86	<b>0,028</b>	20,05	< <b>0,001</b>	0,71	0,586
ACC <sub>MAX</sub> [m·s <sup>-2</sup> ]	0,02	0,879	15,60	< <b>0,001</b>	2,21	0,068
DEC <sub>MAX</sub> [m·s <sup>-2</sup> ]	0,02	0,883	6,11	<b>0,003</b>	4,85	< <b>0,001</b>
EE/min [Anzahl]	0,86	0,355	1,92	0,149	4,67	<b>0,001</b>
ACC <sub>IMA</sub> /min [Anzahl]	2,75	0,098	0,80	0,450	18,07	< <b>0,001</b>
DEC <sub>IMA</sub> /min [Anzahl]	2,09	0,149	0,27	0,763	7,71	< <b>0,001</b>
CoD/min [Anzahl]	14,36	< <b>0,001</b>	2,56	0,079	8,16	< <b>0,001</b>
Jumps/min [Anzahl]	2,18	0,141	2,28	0,104	6,60	< <b>0,001</b>

D/min = Distanz pro Minute, V<sub>MAX</sub> = Maximale Geschwindigkeit, PL/min = Belastung pro Minute, ACC<sub>MAX</sub> = Maximale Beschleunigung, DEC<sub>MAX</sub> = Maximale Abbremsbewegung, EE/min = Anzahl explosiven Bewegungen pro Minute, ACC<sub>IMA</sub>/min = Anzahl Beschleunigungen pro Minute, DEC<sub>IMA</sub>/min = Anzahl Abbremsbewegungen pro Minute, CoD/min = Anzahl Richtungswechsel pro Minute, Jumps/min = Anzahl Sprünge pro Minute

### Spielzeit

Die Spielzeit war in beiden Sätzen ähnlich lang (1. Satz: 6,7 ± 2,7 min; 2. Satz: 6,6 ± 2,6 min). Auch zwischen den Untergruppen konnte kein Unterschied in der Spielzeit festgestellt werden.

Die **Spielerbelastung pro Minute (PL/min)** als auch die Anzahl der **Richtungswechsel pro Minute (CoD/min)** unterschieden sich zwischen beiden Halbzeiten für alle Positionen.

### Analyse 3: Ergebnisse der Positionsdaten (LPS)

#### Zurückgelegte Strecke – D [m]

Insgesamt betrug die während eines Spiels zurückgelegte Strecke  $806 \pm 214$  m und  $63,7 \pm 14,3$  m/min, mit einer mittleren Abnahme von 11 m und  $-1,2$  m/min während des zweiten Satzes.

→ Alter/Geschlecht: **Männliche Jugendliche** legten die **größten Entfernungen** zurück ( $870 \pm 217$  m), gefolgt von männlichen Erwachsenen ( $790 \pm 205$  m) und weiblichen Jugendlichen ( $760 \pm 217$  m).

→ Position: In Bezug auf die Spielposition lautete die Rangfolge **Spezialisten** ( $889 \pm 239$  m), **Flügelspieler** ( $823 \pm 245$  m), Pivotspieler ( $804 \pm 158$  m), gefolgt von Verteidigern ( $785 \pm 172$  m) und Torhütern ( $737 \pm 251$  m).

#### Zurückgelegte Strecke pro Minute - D/min [m]

Die pro Minute zurückgelegte Strecke wurde berechnet, um die aktive Spielzeit auf dem Spielfeld zu berücksichtigen, mit ähnlichen Trends in den Untergruppen.

→ 1. vs. 2. Satz: Kein Unterschied zwischen beiden Sätzen

→ Alter/Geschlecht: **Männliche Jugendliche** ( $69,2 \pm 17,1$  m/min) legten **mehr Strecke** zurück als männliche Erwachsene ( $62,2 \pm 13,0$  m/min), jedoch nicht im Vergleich zu weiblichen Jugendlichen ( $63,3 \pm 12,0$  m/min).

→ Position: **Spezialisten** legten im Vergleich zu den anderen Spielpositionen größere Distanzen zurück ( $73,9 \pm 15,0$  m/min)

#### Höchstgeschwindigkeit - V<sub>MAX</sub> [km/h]

Die durchschnittliche Höchstgeschwindigkeit betrug  $16,5 \pm 2,0$  km/h.

→ 1. vs. 2. Satz: **Keine Veränderungen** zwischen dem ersten und dem zweiten Satz ( $15,5 \pm 2,1$  km/h vs.  $15,5 \pm 2,2$  km/h).

→ Alter/Geschlecht: **Männliche Jugendliche** ( $17,3 \pm 2,0$  km/h) erreichen **höhere Maximalgeschwindigkeiten** als weibliche Jugendliche ( $15,6 \pm 1,3$  km/h) und männliche Erwachsene ( $16,3 \pm 2,0$  km/h), deren Werte sich nicht bedeutsam voneinander unterschieden.

→ Position: Hinsichtlich der Spielpositionen wurde die **höchste Maximalgeschwindigkeit** bei den **Flügelspielern** ( $17,3 \pm 1,9$  km/h) gemessen, die niedrigste bei den Torhütern ( $15,4 \pm 2,2$  km/h). Die übrigen Vergleiche ergaben keine weiteren Unterschiede.

## Analyse 4: Ergebnisse der externen Belastungsparameter (IMA)

Tabelle 3: Ergebnisse der externen Belastungsparameter – Gesamtbelastung, Beschleunigungen und explosive Bewegungen pro Minute (IMA-Daten).

	PL/min [au]	Anzahl	ACC <sub>MAX</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	Anzahl	EE/min [Anzahl]	Anzahl
Gesamtstichprobe	7,37 ± 1,96	283	2,97 ± 0,40	284	0,78 ± 0,48	283
Satz 1	7,48 ± 2,15	282	2,76 ± 0,46	281	0,79 ± 0,61	283
Satz 2	7,28 ± 2,10	280	2,76 ± 0,44	284	0,79 ± 0,57	281
<b>Untergruppe 1:</b>						
<b>Alter/Geschlecht</b>						
U18 weiblich	6,5 ± 1,2	59	2,75 ± 0,33	59	0,68 ± 0,44	59
U18 männlich	8,4 ± 2,2	79	3,08 ± 0,39	81	0,85 ± 0,57	80
Männer	7,1 ± 1,8	145	3,01 ± 0,39	144	0,79 ± 0,44	144
<b>Untergruppe 2: Position</b>						
Torwart	6,6 ± 1,7	44	2,89 ± 0,48	43	0,75 ± 0,38	42
Verteidigung	7,5 ± 1,8	92	2,96 ± 0,36	92	0,65 ± 0,34	92
Flügel	7,5 ± 2,2	58	3,07 ± 0,39	59	0,94 ± 0,60	59
Spezialist	7,5 ± 2,2	45	2,90 ± 0,30	46	0,79 ± 0,54	46
Pivot	7,6 ± 1,9	44	3,03 ± 0,47	44	0,86 ± 0,53	44

PL/min = PlayerLoad pro Minute, ACC<sub>MAX</sub> = Maximale Beschleunigung, EE/min = Anzahl explosiven Bewegungen pro Minute

### Gesamtbelastung – PL [au]

Die Gesamtbelastung der Spieler betrug  $92,8 \pm 28,4$  au mit einer leichten Abnahme von 1,5 au vom ersten zum zweiten gespielten Satz (-3,2%).

### Belastung pro Minute - PL/min [au]

Um die Spielzeit zu berücksichtigen, wurde die Spielerbelastung pro Minute berechnet.

→ 1. vs. 2. Satz: **Niedrigere Belastung pro Minute im zweiten Satz** unabhängig des Geschlechts/Alters oder der Position.

→ Alter/Geschlecht: **Männliche U18 Spieler** erreichten eine **höhere Spielbelastung** als weibliche Jugendliche und männliche Erwachsene, deren Werte sich nicht voneinander unterschieden.

→ Position: Niedrigere Belastung pro Minute der Torhüter – ansonsten keine Unterschiede zwischen den Positionen.

### Beschleunigungen - ACC<sub>MAX</sub> [m/s<sup>2</sup>] und Abbremsbewegungen - DEC<sub>MAX</sub> [m/s<sup>2</sup>]

→ 1. vs. 2. Satz: Die maximalen Beschleunigungs- ( $2,97 \pm 0,40$  m/s<sup>2</sup>) und Abbremswerte ( $-3,34 \pm 0,67$  m/s<sup>2</sup>) zeigen **keine Unterschiede** zwischen dem ersten und zweiten Satz.

→ Alter/Geschlecht: Männliche Jugendliche erreichten die höchsten Beschleunigungen und Abbremsbewegungen und führten die höchste Anzahl an explosiven Bewegungen pro Minute aus, gefolgt von männlichen Erwachsenen und weiblichen Jugendlichen.

→ **Höhere maximale Beschleunigungen und Verlangsamungen bei männlichen Jugendlichen** im Vergleich zu weiblichen Jugendlichen und höhere maximale Abbremsbewegungen zwischen männlichen Jugendlichen und männlichen Erwachsenen.

→ Weibliche Jugendliche und männliche Erwachsene unterschieden sich nur in Bezug auf die maximale Beschleunigung.

→ Position: Hinsichtlich der Spielpositionen wurden die **höchsten maximalen Beschleunigungen und Abbremsbewegungen** von den **Flügelspielern** erreicht, die niedrigsten von den Torhütern.

### Anzahl explosive Bewegungen - EE/min [Anzahl]

→ 1. vs. 2. Satz: **Keine bedeutsamen Unterschiede** zwischen dem ersten und zweiten Satz der Anzahl der explosiven Bewegungen ( $9,7 \pm 5,9$ ) und der Belastungen pro Minute ( $0,78 \pm 0,48$ ).

→ Alter/Geschlecht: Die Anzahl der explosiven Bewegungen **unterscheidet sich nicht zwischen den drei Gruppen**.

→ Position: Die Anzahl der explosiven Bewegungen pro Minute war bei den **Flügeln** am höchsten. Unterschiede wurden jedoch nur zwischen Flügeln und Verteidigern festgestellt.

### Analyse der IMA-Daten (Anzahl)

#### Durchschnittliche Anzahl pro Spiel der:

- Beschleunigungen ( $19,0 \pm 8,6$  Zählungen),
- Abbremsbewegungen ( $21,1 \pm 9,6$  Zählungen),
- Richtungswechsel ( $87,8 \pm 36,4$  Zählungen) und
- Sprünge ( $11,3 \pm 7,2$  Zählungen)

Tabelle 4: Ergebnisse der externen Belastungsparameter – Anzahl der Beschleunigungen, Abbremsbewegungen und Sprünge pro Minute (IMA-Daten).

	ACC <sub>IMA</sub> /min [Anzahl]	Anzahl	DEC <sub>IMA</sub> /min [Anzahl]	Anzahl	Jumps/min [Anzahl]	Anzahl
Gesamtstichprobe	$1,54 \pm 0,69$	284	$1,70 \pm 0,80$	284	$0,94 \pm 0,68$	278
Satz 1	$1,60 \pm 0,86$	282	$1,75 \pm 0,96$	281	$1,00 \pm 0,81$	277
Satz 2	$1,51 \pm 0,76$	281	$1,67 \pm 0,89$	278	$0,92 \pm 0,74$	275
<b>Untergruppe 1:</b>						
<b>Alter/Geschlecht</b>						
U18 weiblich	$1,47 \pm 0,74$	59	$1,63 \pm 0,53$	59	$0,79 \pm 0,47$	56
U18 männlich	$1,64 \pm 0,74$	81	$1,68 \pm 0,82$	81	$1,06 \pm 0,62$	81
Männer	$1,52 \pm 0,64$	144	$1,74 \pm 0,87$	144	$0,93 \pm 0,76$	141
<b>Untergruppe 2: Position</b>						
Torwart	$2,11 \pm 0,62$	44	$1,44 \pm 0,55$	43	$0,48 \pm 0,36$	39
Verteidigung	$1,36 \pm 0,52$	91	$2,03 \pm 0,83$	92	$0,88 \pm 0,66$	91
Flügel	$1,56 \pm 0,77$	59	$1,56 \pm 0,85$	59	$1,02 \pm 0,75$	59
Spezialist	$1,12 \pm 0,59$	46	$1,36 \pm 0,68$	46	$1,20 \pm 0,71$	45
Pivot	$1,78 \pm 0,59$	44	$1,82 \pm 0,70$	44	$1,11 \pm 0,57$	44

ACC<sub>IMA</sub>/min = Anzahl Beschleunigungen pro Minute, DEC<sub>IMA</sub>/min = Anzahl Abbremsbewegungen pro Minute, Jumps/min = Anzahl Sprünge pro Minute

→ 1. vs. 2. Satz: Trend dahingehend, dass die externen Belastungsparameter im zweiten Satz abnehmen; ein klarer Unterschied wurde aber nur für die mittlere Anzahl der **Richtungswechsel pro Minute (CoD/min)** gefunden ( $7,3 \pm 3,2$  vs.  $6,8 \pm 3,0$  Zählungen; unabhängig von Position und Alter/Geschlecht).

→ Alter/Geschlecht: Trend: Männliche Jugendliche weisen die höchsten externen Belastungsparameter auf, gefolgt von männlichen Erwachsenen und weiblichen Jugendlichen, wobei die **Abbremsbewegungen pro Minute (DEC<sub>IMA</sub>/min)** die einzige Ausnahme darstellen. Hierbei zeigen sich keine Unterschiede zwischen U18 weiblich und U18 männlich und männlichen Erwachsenen.

→ Position:

**Torhüter**: Erreichen im Vergleich zu Verteidigern, Flügelspielern und Spezialisten und auch im Vergleich zu Pivots mehr **Beschleunigungen pro Minute (ACC<sub>IMA</sub>/min)**.

**Spezialisten**: Erzielten weniger **Beschleunigungen pro Minute (ACC<sub>IMA</sub>/min)** im Vergleich zu Flügeln und Pivots.

**Verteidiger**: Weniger **Beschleunigungen pro Minute (ACC<sub>IMA</sub>/min)** im Vergleich zu Pivots. Im Gegensatz dazu waren die **Abbremsbewegungen pro Minute (DEC<sub>IMA</sub>/min)** bei Verteidigern höher als bei Torhütern, Spezialisten und Flügeln. Verteidiger führten auch die meisten **Richtungswechsel pro Minute (CoD/min)** auf dem Spielfeld durch (kein Unterschied zwischen den anderen Gruppen).

**Torhüter**: Weniger **Sprünge pro Minute (Jumps/min)** als Flügelspieler, Pivotspieler und Spezialisten.



## 6. Diskussion/Zusammenfassung

→ **Ziel** war die umfassende **Beschreibung wichtiger externer Belastungsparameter** unter Verwendung valider Bewertungsmethoden (LPS, IMA).

→ Die Untersuchungen zeigen, dass die **zurückgelegten Distanzen** als auch die **maximalen Geschwindigkeiten** der ersten und der zweiten Halbzeit sehr ähnlich sind, also **keine ermüdungsbedingten Abfälle** zu verzeichnen sind.

→ Bei der Anzahl der **Richtungswechsel** sind Spielerinnen und Spieler in der zweiten Hälfte etwas weniger agil – die **Abfälle** liegen bei **ca. 10%**.

→ Ebenso bei **10%** liegen die **generellen Unterschiede in den Belastungsparametern** zwischen Männern und Frauen.

→ Die Trainer:innen konnten neben den übergreifenden Wettkampfanalysen auch die Daten der einzelnen Spieler:innen einsehen und darauf aufbauend eine individuelle Belastungssteuerung vornehmen.

→ Die Ergebnisse können helfen, die Trainingsbelastung an die Wettkampfbelastung anzupassen.

→ Ein direkter Leistungsvergleich mit dem Hallenspiel ist allerdings problematisch, weil der Sand als Untergrund vor allem beim Laufen und Springen durch das Einsinken höhere und weniger reaktive muskuläre Beanspruchungen verursacht.

## 7. Verweis

Müller, C., Willberg, C., Reichert, L. & Zentgraf, K. (2022). External Load Analysis in Beach Handball Using a Local Positioning System and Inertial Measurement Units. *Sensors*, 22, 3011. <https://doi.org/10.3390/s22083011>.