Spezielle Bewegungslehre Biomechanik





Instruktor Faustball – Linz - 29.3.2015

Übersicht

- **8:00 – 10:15**

  Ausgewählte Beispiele der Sport-Biomechanik
  (ein bisschen Physik und Mathe…)

- **10:30 – 12:00**

  Diplomarbeit

Übersicht

- Vieles bekannt! ➔ Bewusstsein bringen
- Fragen! Fragen! Fragen!
- Expertenrunde

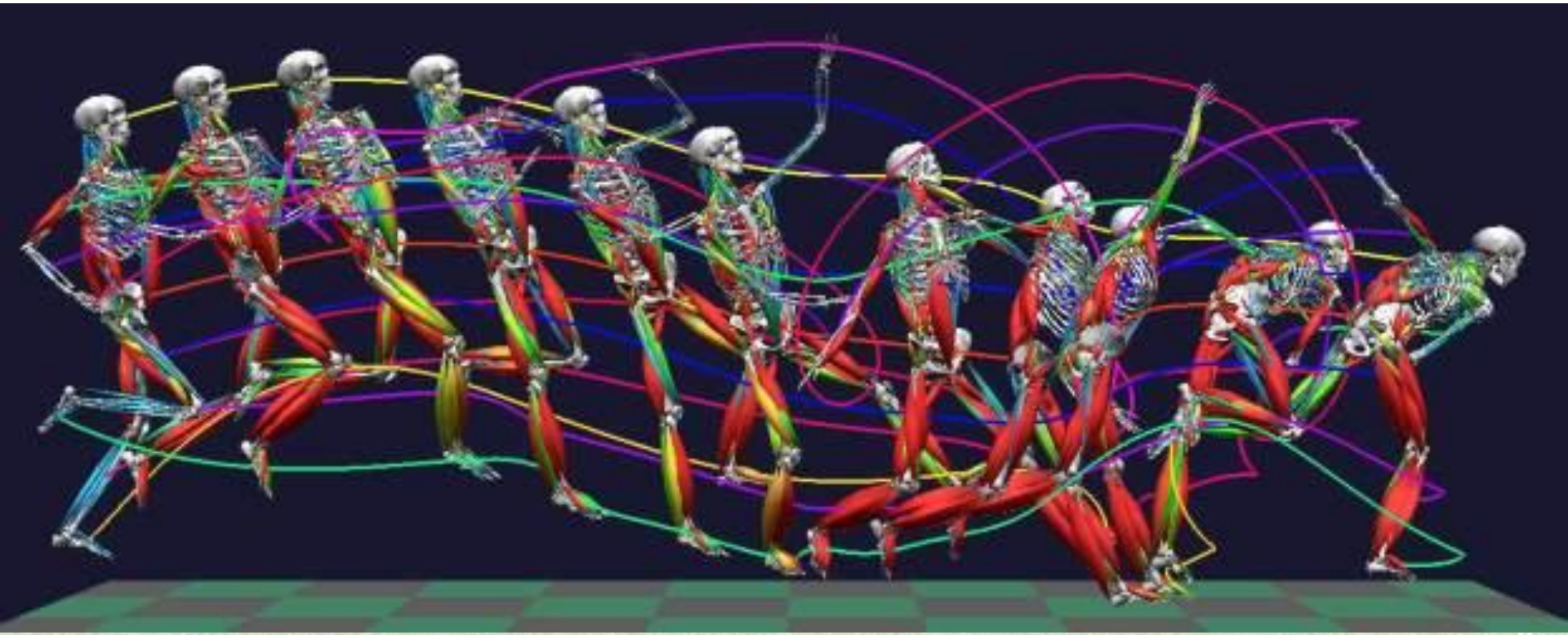


Biomechanik?

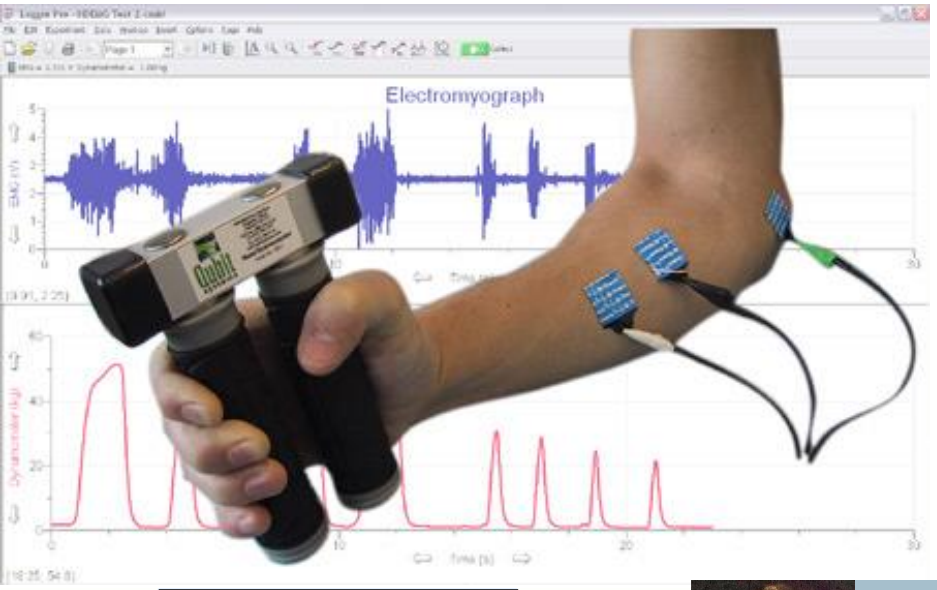
„Die Biomechanik des Sports ist die wissenschaftliche Disziplin, die die sportliche Bewegung unter Verwendung von Begriffen, Methoden und Gesetzmäßigkeiten der Mechanik beschreibt und erklärt.“

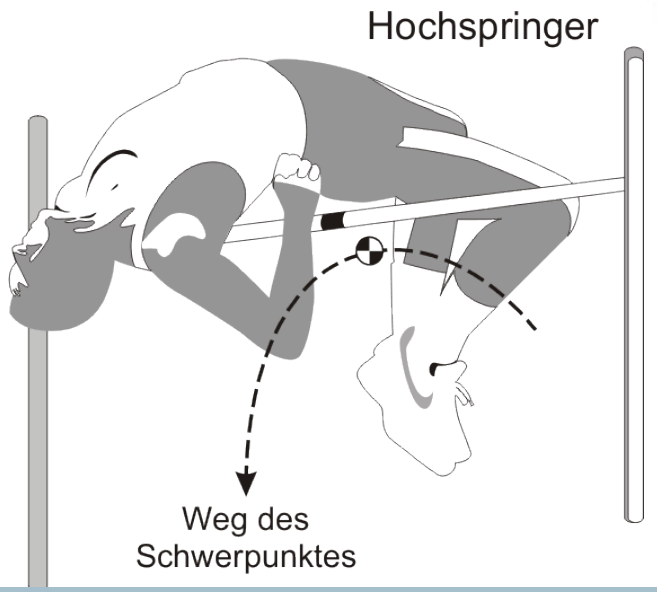
(Ballreich 1996)

Biomechanik



Biomechanik





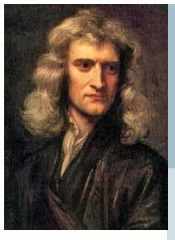
Mechanik

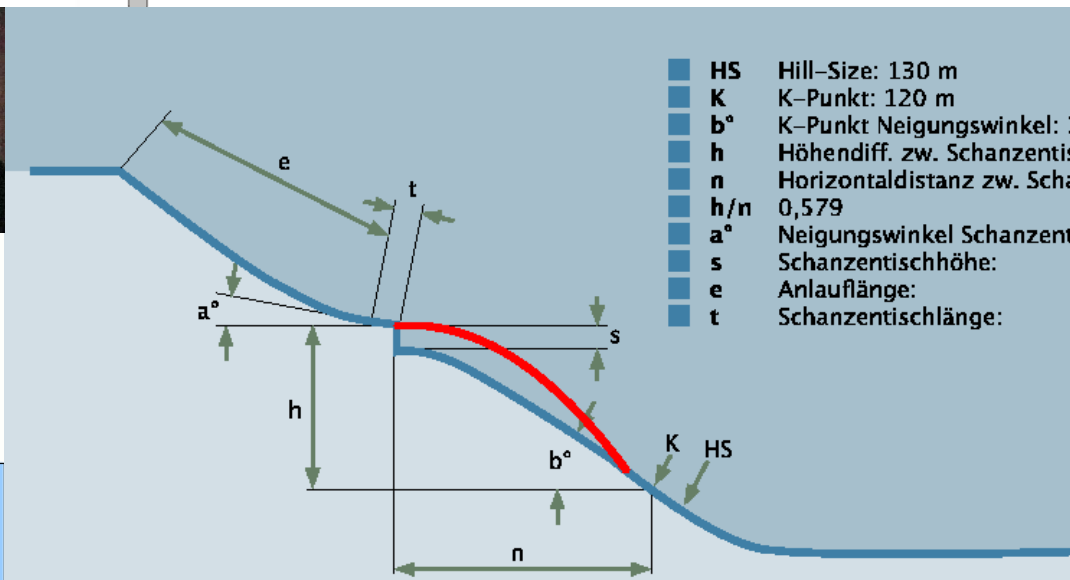
Kinematik
Bewegungsgesetze ohne Kräfte

Dynamik
Wirkung von Kräften

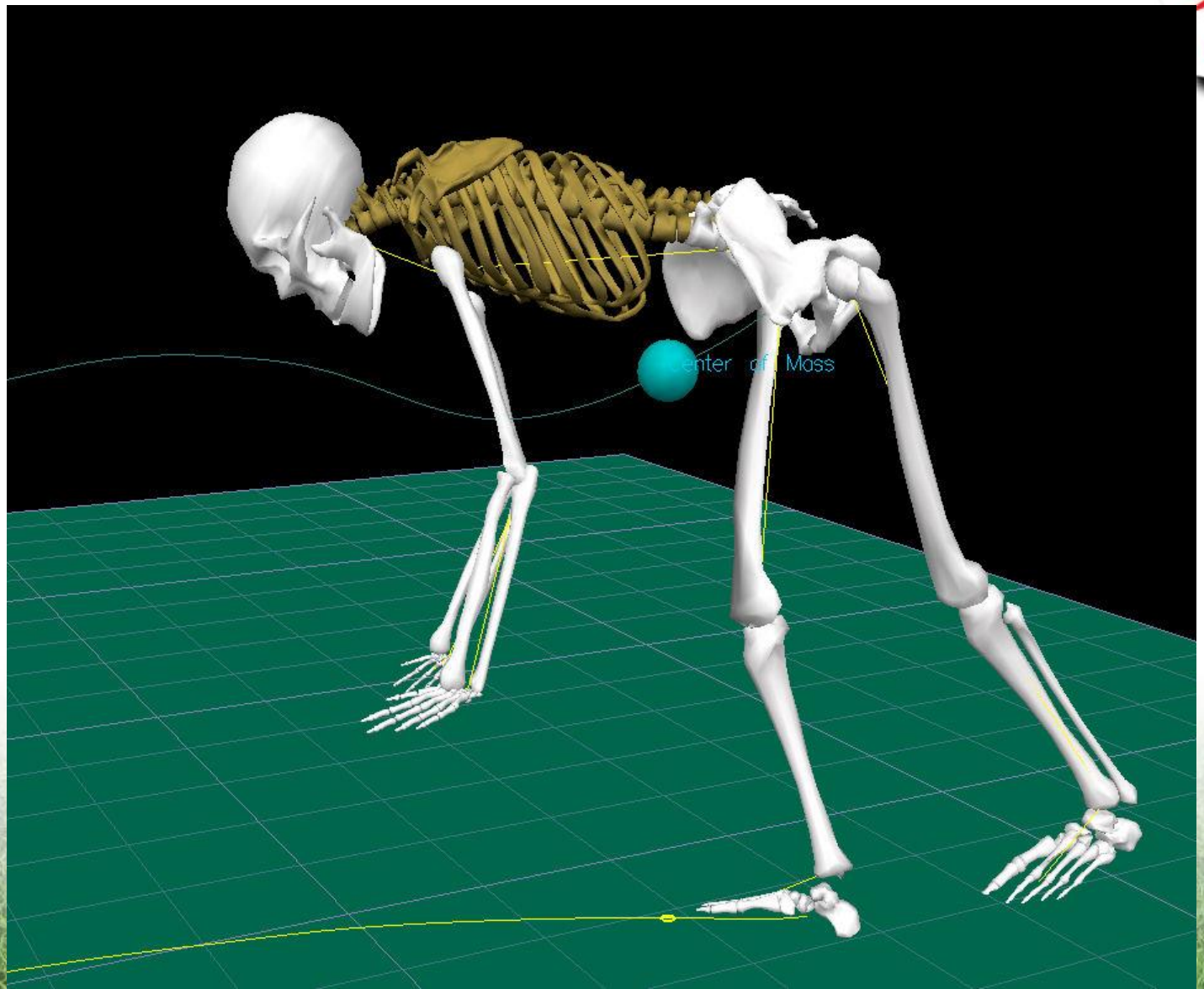
Statik
Kräfte im Gleichgewicht ruhender Körper

Kinetik
Kräfte verändern den Bewegungszustand





Biomechanik



Jump!!!



Jump!!!

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$



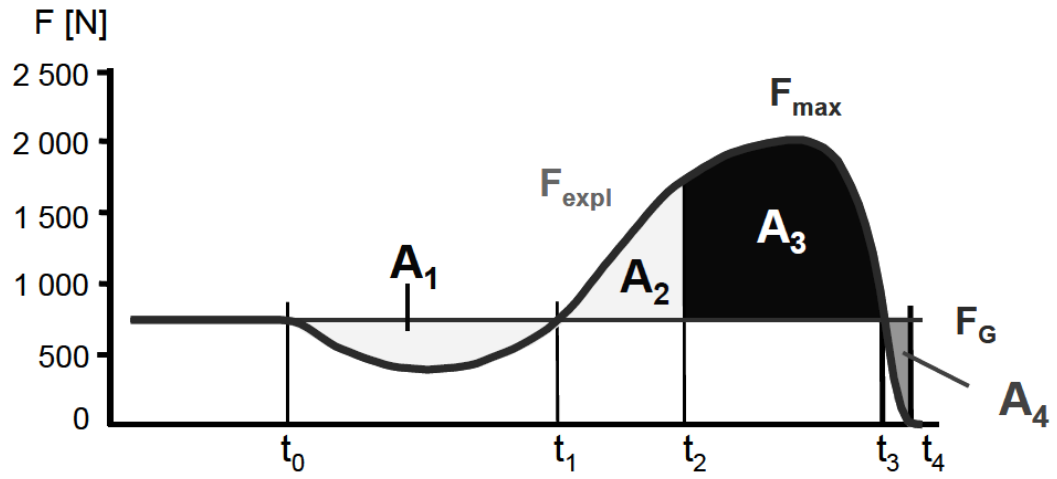
Counter-Movement-Jump



Counter-Movement-Jump

v_{max} maximale Geschwindigkeit

v_{t3}



v_0 Abfluggeschwindigkeit

$$v_0 = \frac{\Delta p}{m}$$

h Sprunghöhe

$$h = \frac{v_o^{\,2}}{2g}$$

Jump!!!

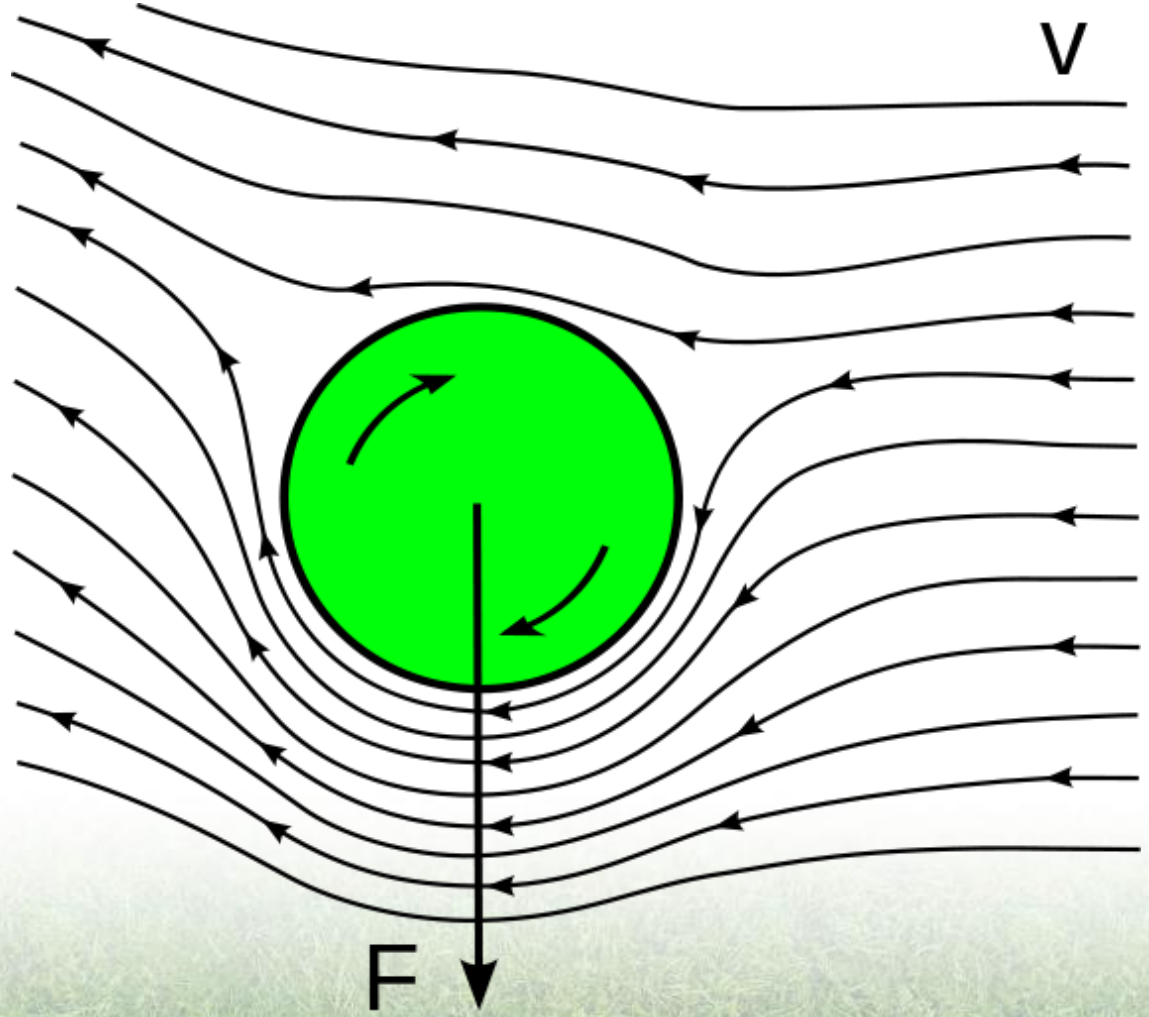
Leonell Marshall (CUBA)



Drop-Jump



Magnus-Effekt



Magnus-Effekt

Roberto Carlos (BRA)



Magnus-Effekt



Exkurs: Ball-Diskussion



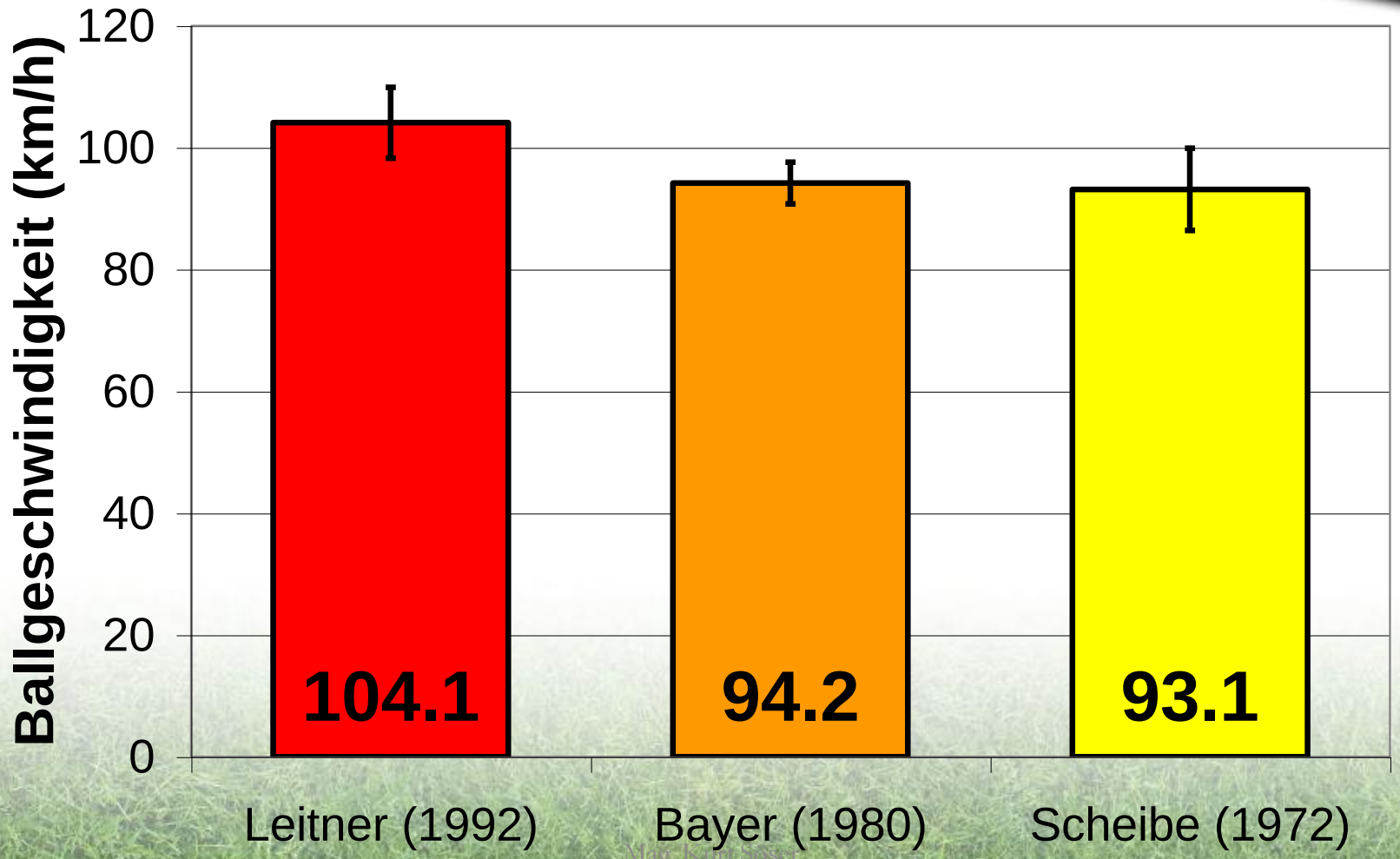




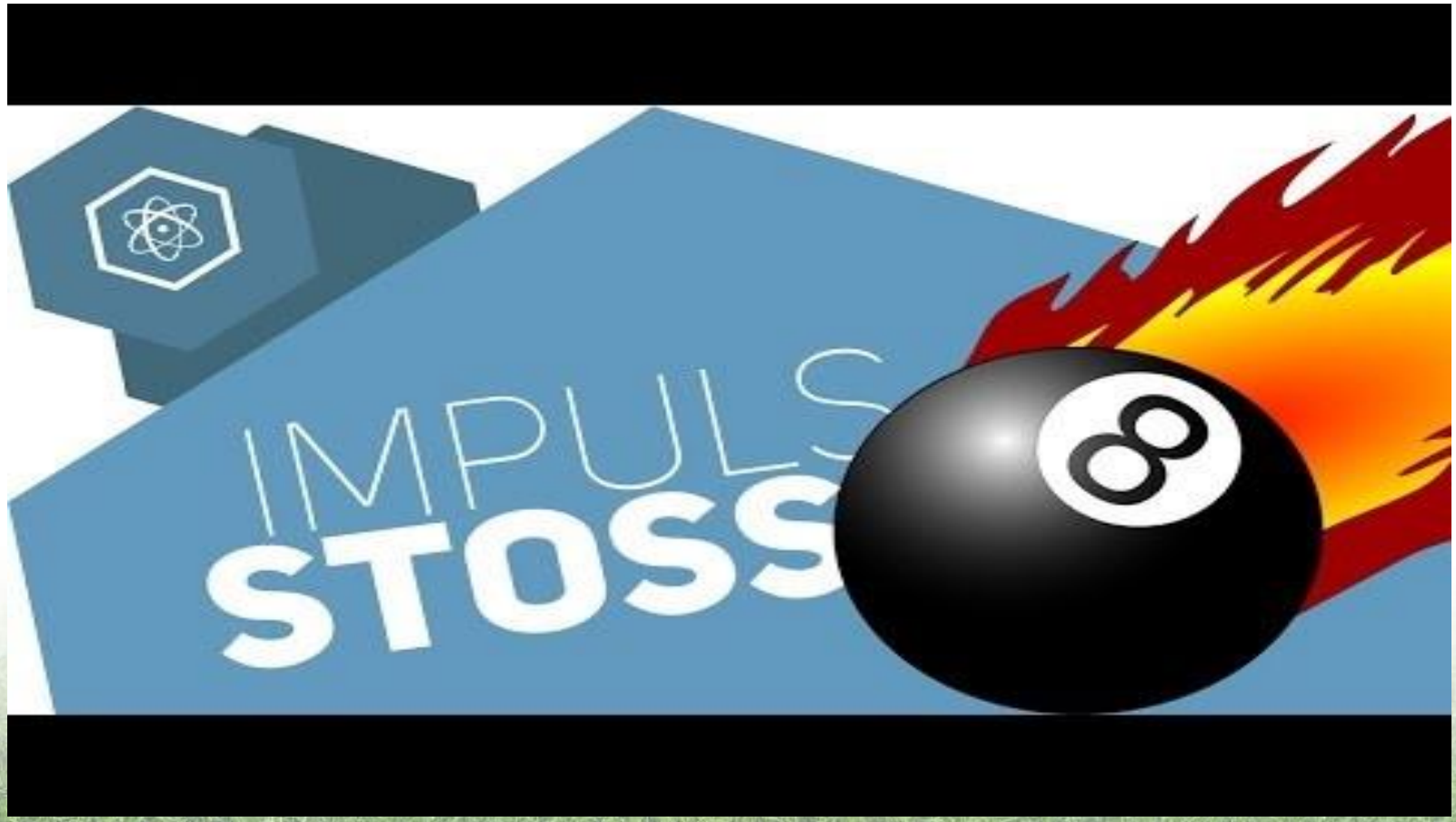
Ballgeschwindigkeiten

Sportart	Geschwindigkeit in km/h	Rekordhalter
Badminton	332	Fu Haifeng
Jai-Alai (Pelota)	302	
Golfball	~ 300	
Squash	270	
Tennis-Aufschlag	264	Sam Groth
Fußball	202	Ronny Heberson
Tischtennis	~ 200	
Eishockey	183,7	Alexander Ryazantsev
Baseball	170	Aroldis Chapman
Volleyball	132	Matey Kaziyski
Handball	131	

Ballgeschwindigkeiten Faustball Standservice



Elastischer/Inelastischer Stoß



Teilelastischer Stoß

$$v_B = \frac{m_B \cdot v_{0B} + m_F \cdot v_F - (v_{0B} - v_F) \cdot m_F \cdot e}{m_B + m_F}$$



v_B	Abfluggeschwindigkeit des Balles
m_B	Masse des Balles (Sollwertzwischen 350 g und 380 g)
v_{0B}	Anfangsgeschwindigkeit des Balleszum Zeitpunkt des Treffens
m_F	Masse Faust
v_F	Geschwindigkeit der Faust zum Zeitpunkt des Treffens
e	Elastizitätskoeffizient

Elastischer/Inelastischer Stoß



Teilelastischer Stoß

$$v_B = \frac{m_B \cdot v_{0B} + m_F \cdot v_F - (v_{0B} - v_F) \cdot m_F \cdot e}{m_B + m_F}$$



v_B	Abfluggeschwindigkeit des Balles
m_B	Masse des Balles (Sollwertzwischen 350 g und 380 g)
v_{0B}	Anfangsgeschwindigkeit des Balleszum Zeitpunkt des Treffens
m_F	Masse Faust
v_F	Geschwindigkeit der Faust zum Zeitpunkt des Treffens
e	Elastizitätskoeffizient

Teilelastischer Stoß

- Standservice



Effektive Masse Standservice	*Mittelwert* $\bar{m}$ *(kg)*	*Minimum* m_{min} *(kg)*	*Maximum* m_{max} *(kg)*	*Standardabweichung* σ *(kg)*
Gruppe 1 (n = 4)	1,37	1,13	1,66	0,22
Gruppe 2 (n = 8)	0,95	0,71	1,16	0,16
Gruppe 3 (n = 7)	0,76	0,53	0,96	0,14

- Sprungservice



Effektive Masse Sprungservice	*Mittelwert* $\bar{m}$ *(kg)*	*Minimum* m_{min} *(kg)*	*Maximum* m_{max} *(kg)*	*Standardabweichung* σ *(kg)*
Gruppe 1 (n = 5)	1,08	0,84	1,30	0,20
Gruppe 2 (n = 4)	0,93	0,68	1,31	0,29

Biomechanische Grundprinzipien

- Koordination von Teilimpulsen
- Optimaler Beschleunigungsweg
- Anfangskraft
- Gegenkraft
- Impulserhaltung

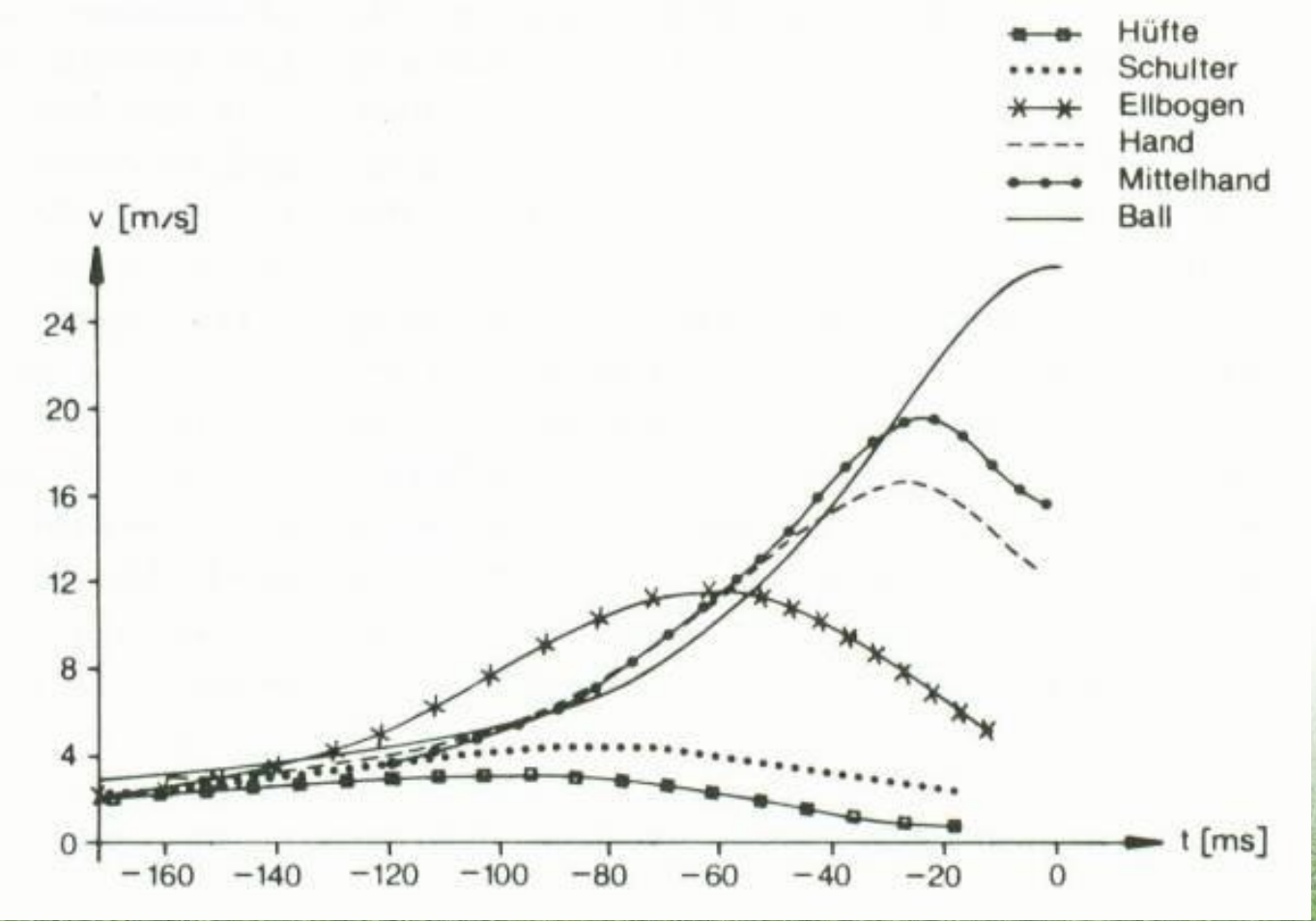
Koordination von Teilimpulsen

- Koordination der Geschwindigkeiten von proximal - distal



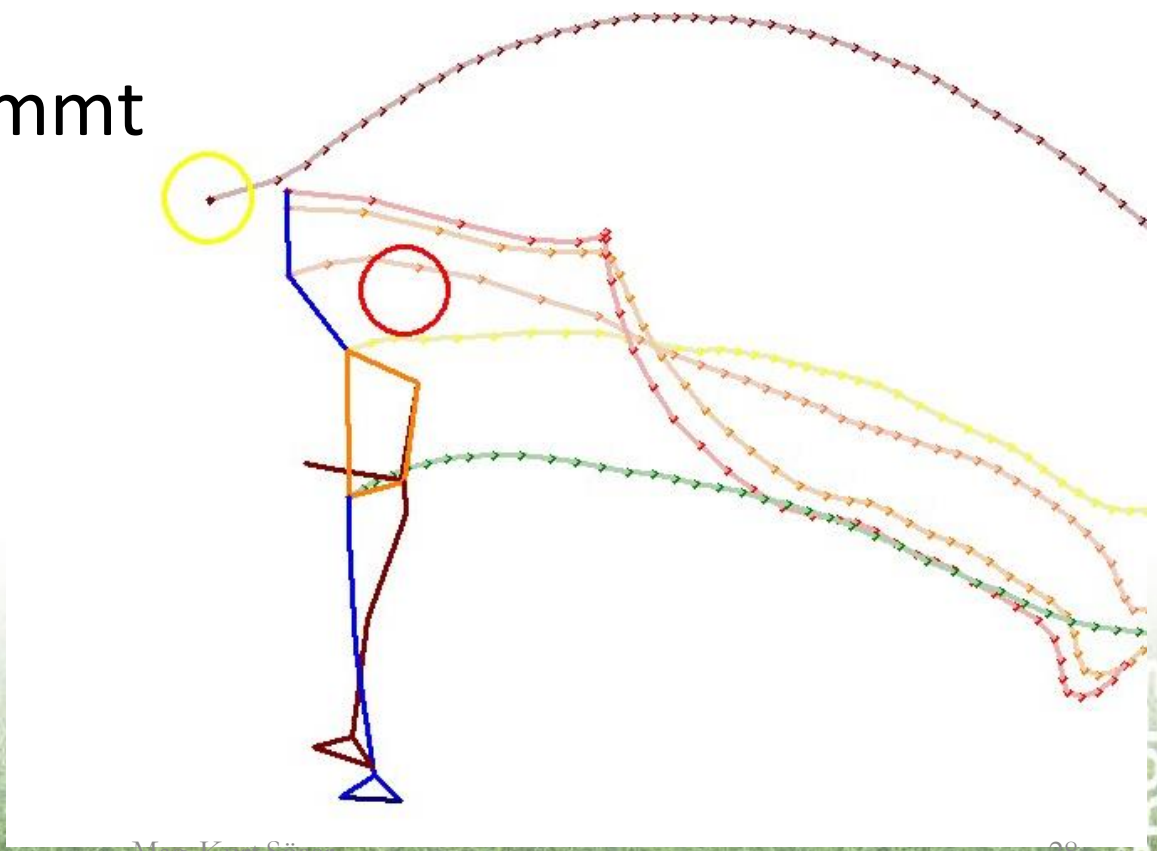
Koordination von Teilimpulsen

Kinematische Kette



Optimaler Beschleunigungsweg

- Geradlinig
- Stetig Gekrümmt



Anfangs“kraft“

- Bogenspannung
- Oberkörpertorsion



Gegenkraft

- „Widerlager“ am Boden
- Schwung-Arm

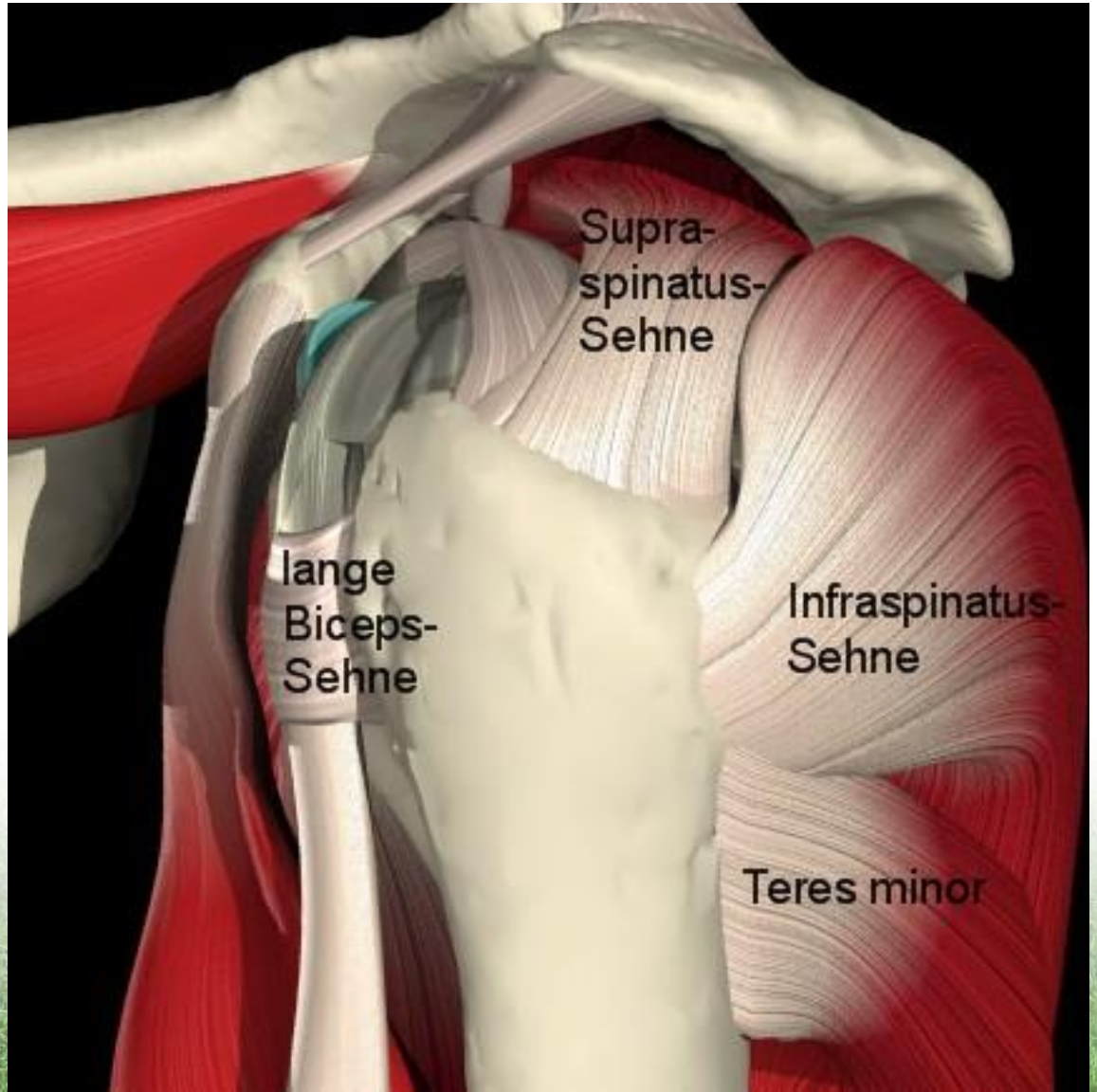


Wurfseitenfreiheit

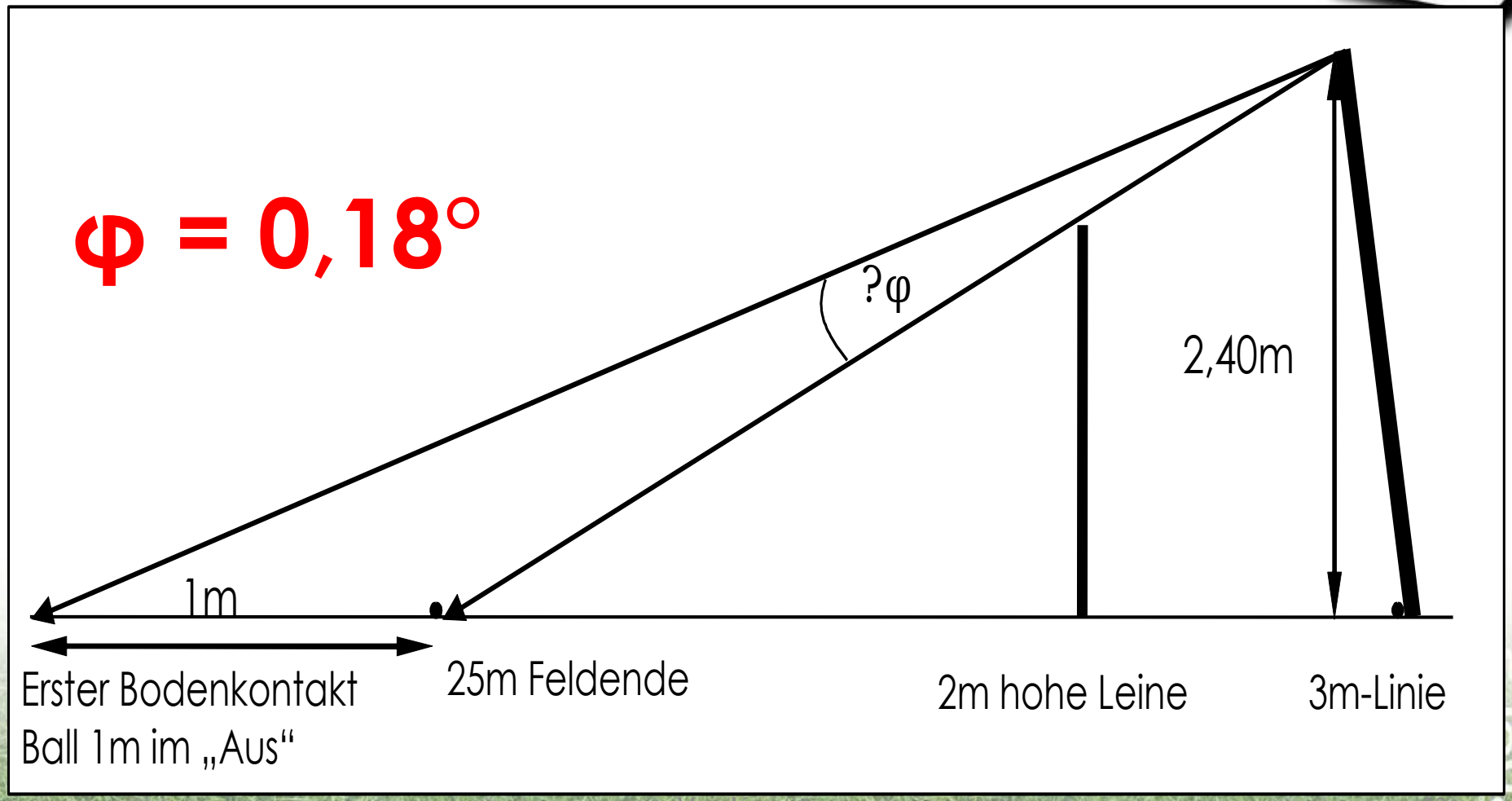
- Anstellen der Schulterachse
- Einsatz des Brustmuskels
- Verletzungen?



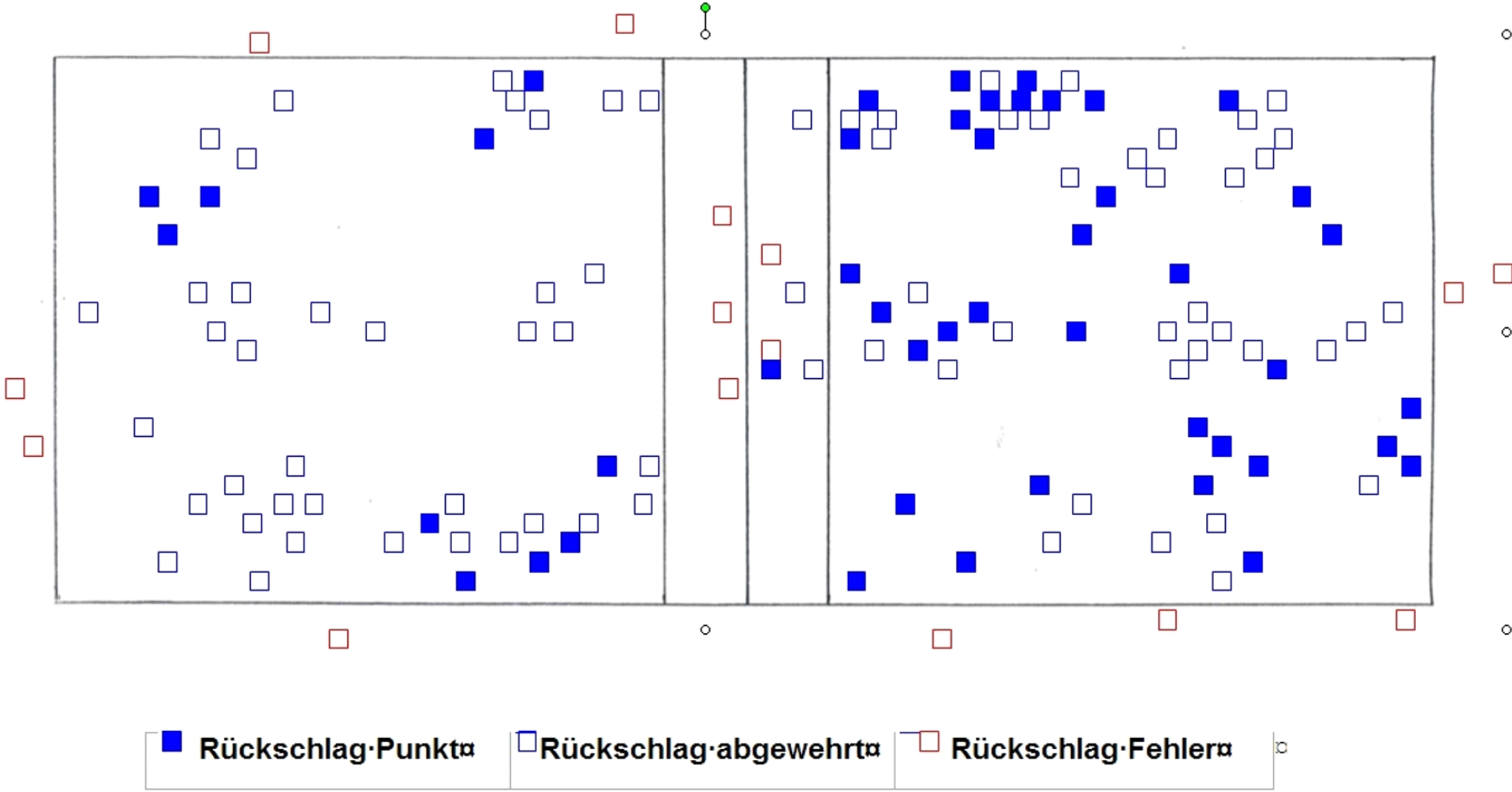
Wurfseitenfreiheit



Geometrie

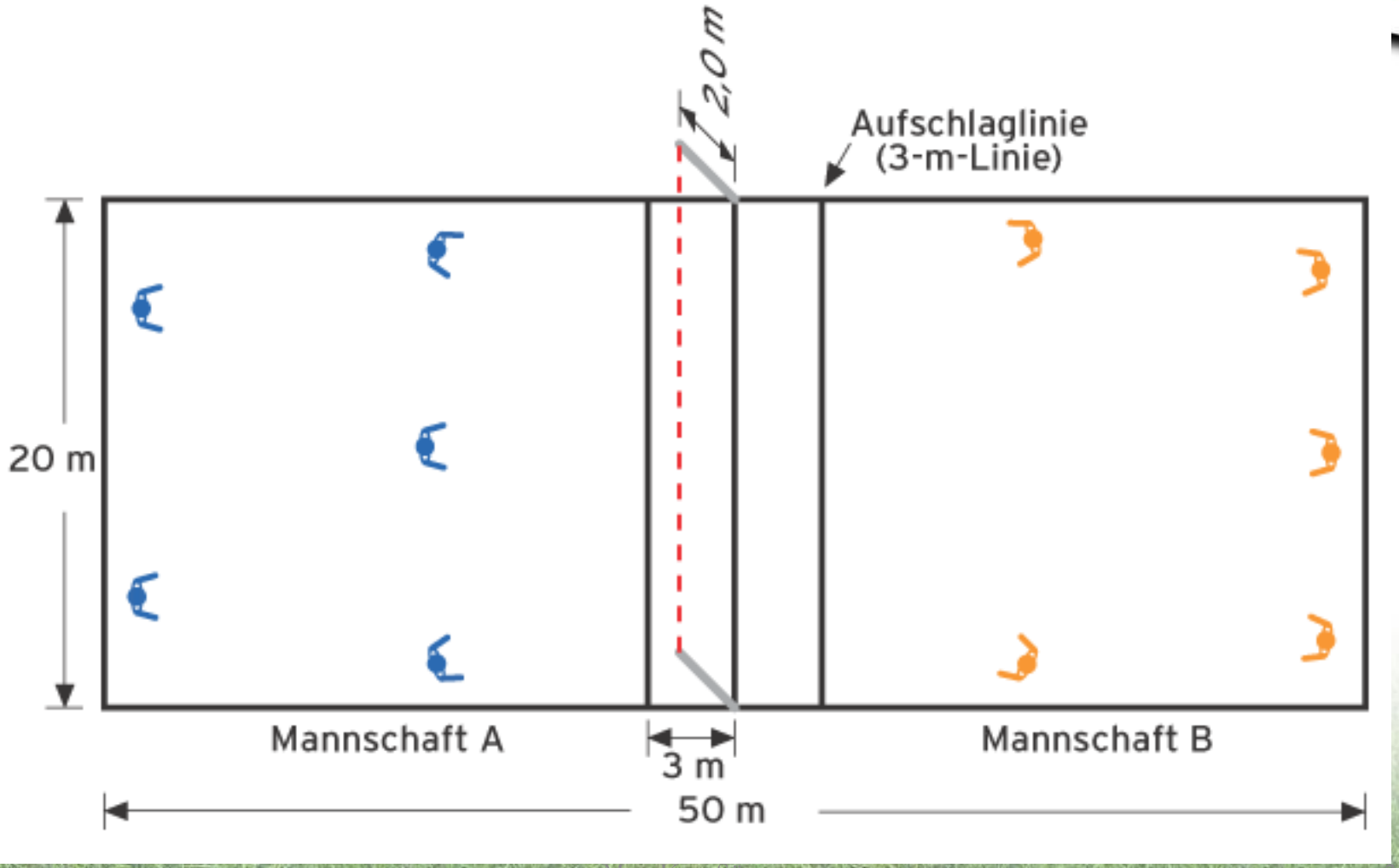

φ = 0,18°
?φ
2,40m
1m
Erster Bodenkontakt
Ball 1m im „Aus“
25m Feldende
2m hohe Leine
3m-Linie

Geometrie



Almhofer (2003)

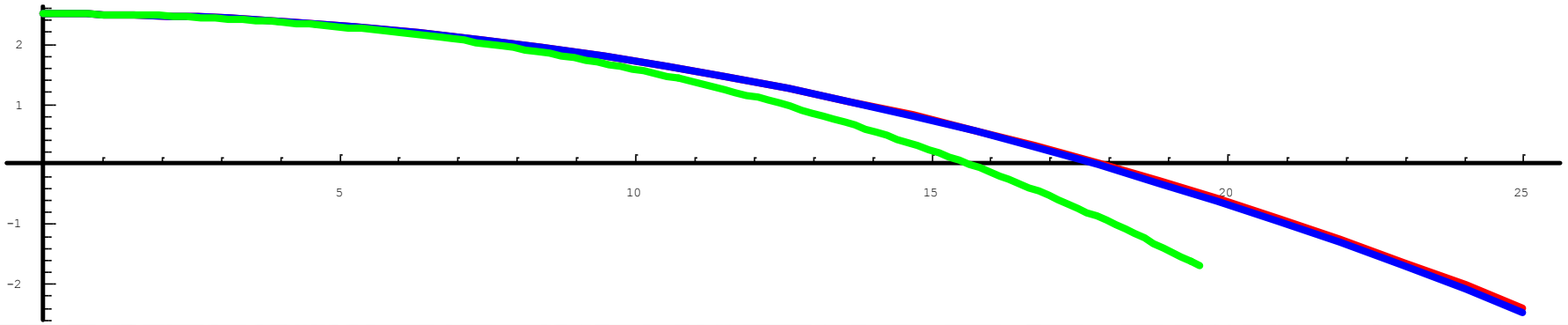
Geometrie


2,0 m
Aufschlaglinie
(3-m-Linie)
20 m
Mannschaft A
3 m
Mannschaft B
50 m

Geometrie

- Flugparabeln
  - *Ohne*/mit Luftwiderstand

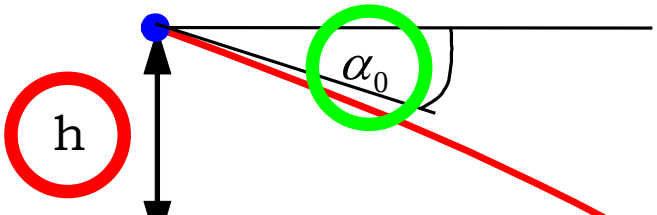
$$z(x) = -\frac{g}{2 \cdot v_0^{\,2} \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha + h_0$$



  - Berechnungen anhand von Flugparabel mit *Luftwiderstand* und *Rotation* **sehr komplex**

Geometrie

Ursprung (0/0)

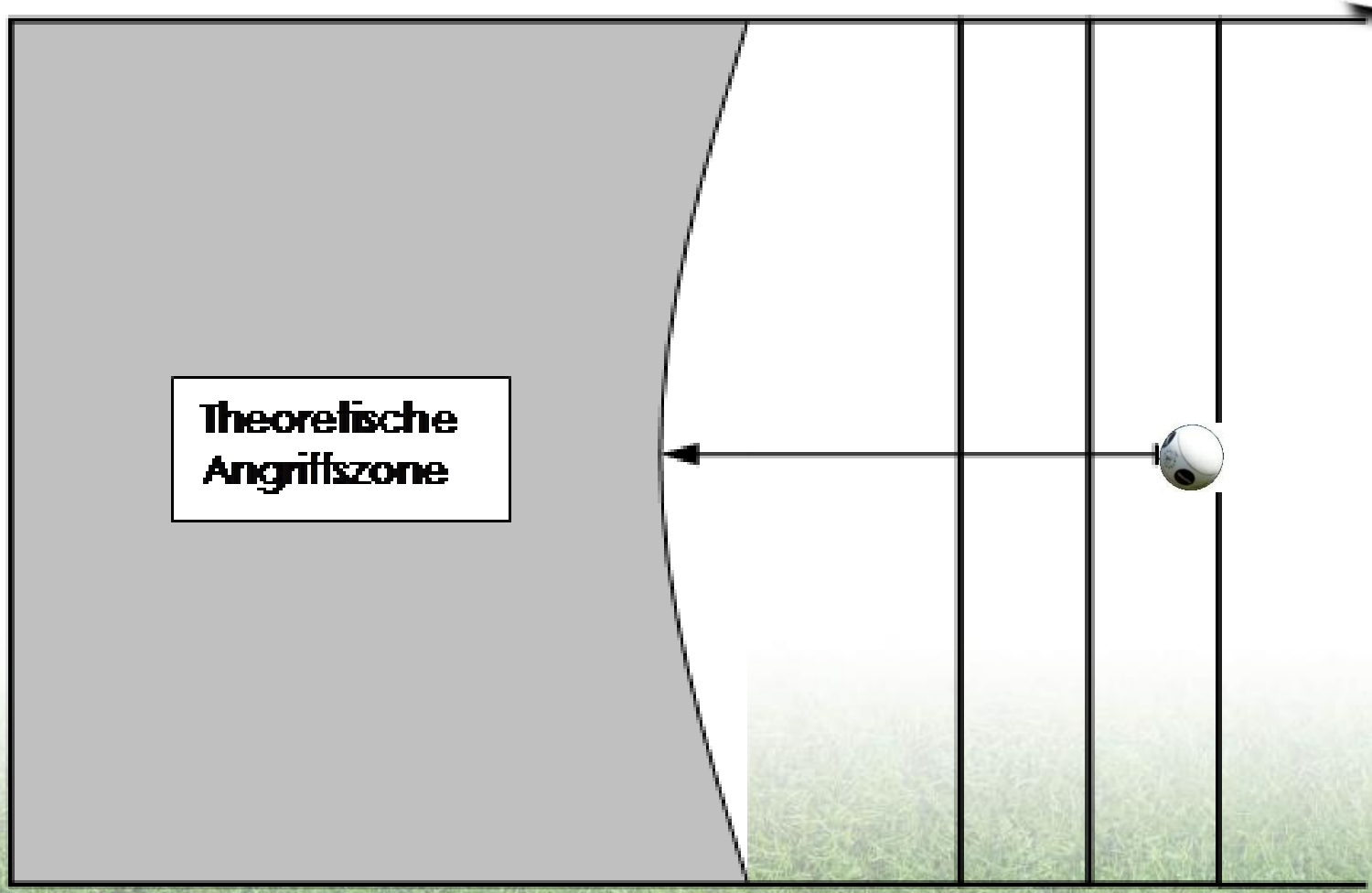


d	Distanz zur Leine beim Balltreffpunkt
h	Leinenüberhöhung des Ball-schwerpunktes bezüglich L = 2,11 m
α_0	Abflugwinkel
TA	Theoretische Angriffslinie

Theoretische Angriffslinie

Geometrie

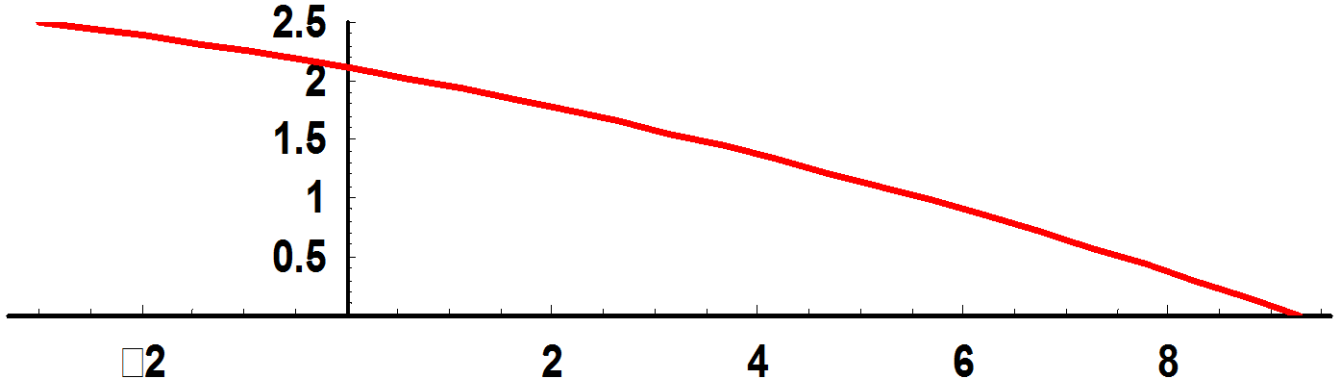
- Theoretische Angriffszone



Geometrie

- Physik – Flugparabel

absteigende Flugbahn



Ball Distanz: 3 m

Ballhöhe: 2.5 m

Ballgeschwindigkeit: 25 m s

Abflugwinkel: 6.06155°

Theoretische Angriffslinie: 9.27724 m

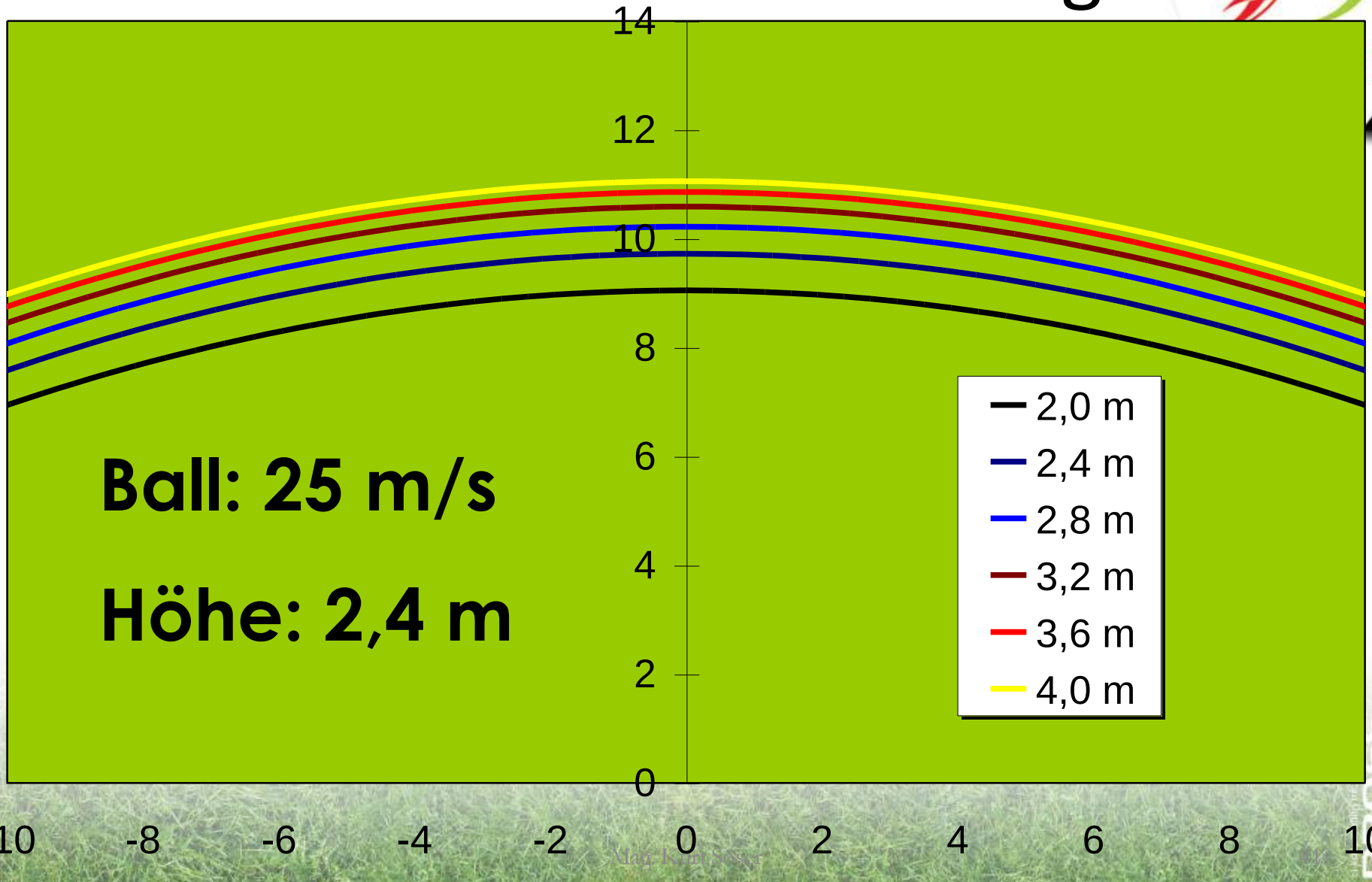
Theoretische Betrachtungen

Abschlaghöhe (in m)	2,21	2,31	2,41	2,51	2,61	2,71	2,81
Entfernung zur Leine (in m)	Theoretische Angriffslinie (in m)						
2,40	12,99	11,11	9,59	8,35	7,34		
2,60	13,07	11,32	9,86	8,66	7,67		
2,80	13,13	11,48	10,09	8,93	7,96		
3,00	13,17	11,62	10,30	9,17	8,22		
3,20	13,19	11,73	10,47	9,39	8,46		
3,40	13,21	11,83	10,62	9,58	8,68		
3,60	13,21	11,90	10,75	9,74	8,87		
3,80	13,21	11,96	10,86	9,89	9,04		
4,00	13,19	12,01	10,96	10,02	9,20		

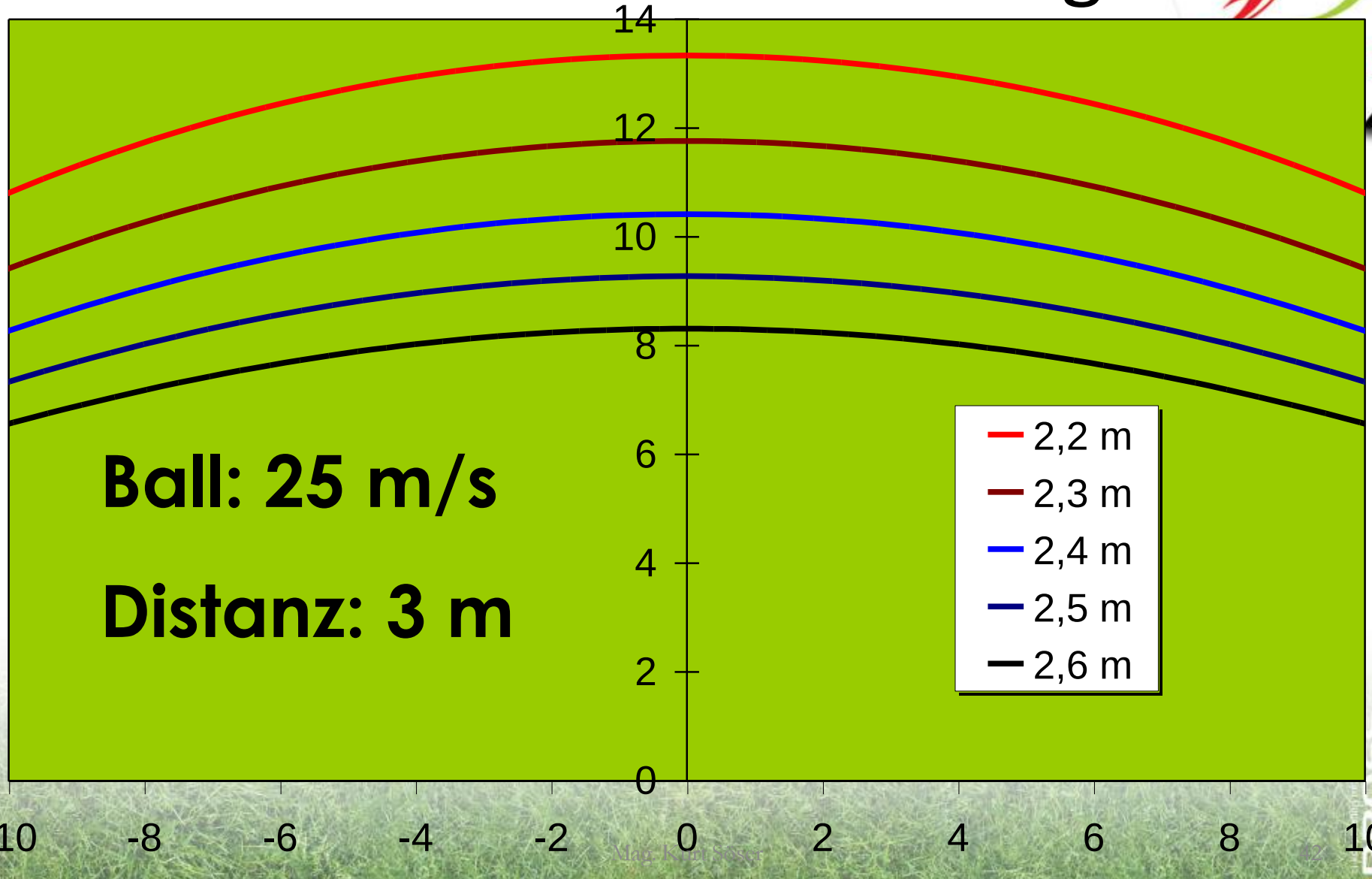




Theoretische Betrachtungen



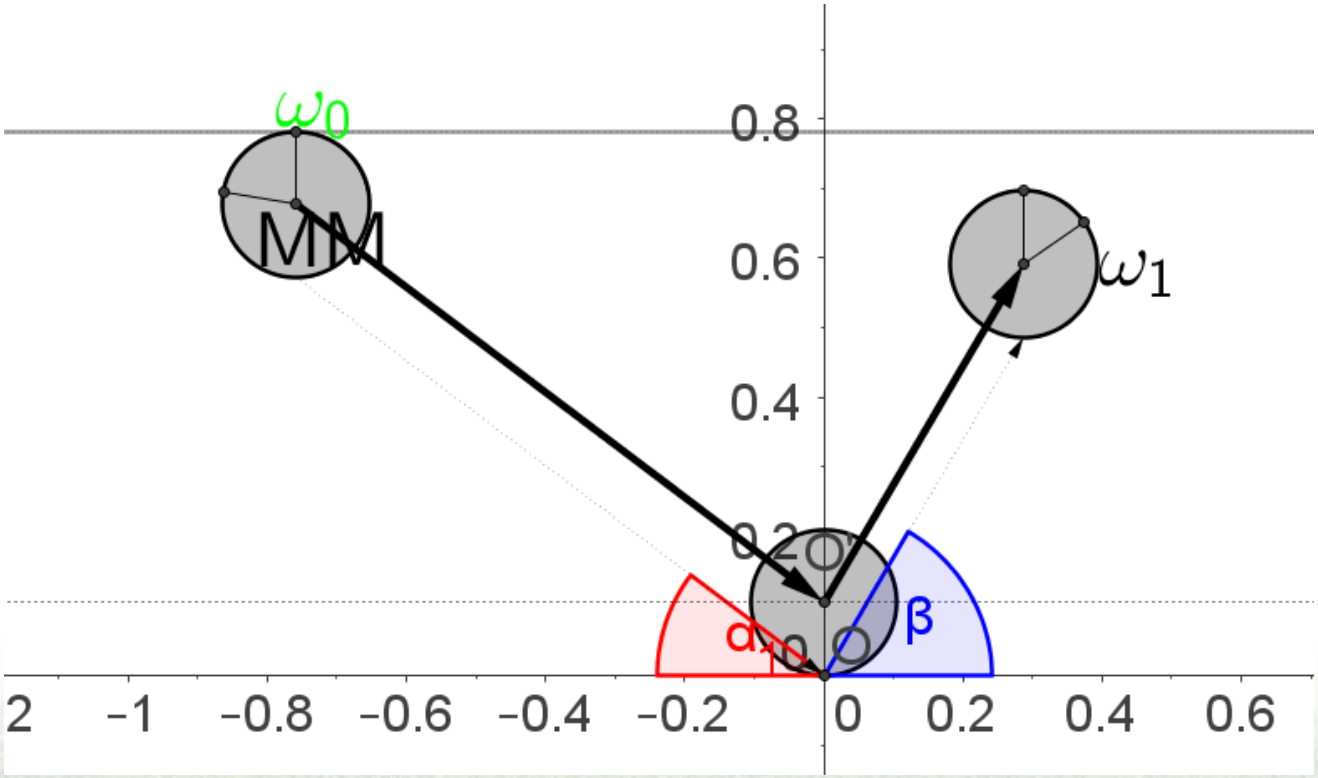
Theoretische Betrachtungen



Theoretische Betrachtungen

- Theoretische Angriffszone
  - Sprungservice **nicht** zum Raumgewinn!
  - Höhe wichtiger als Distanz!
    - (physiologische Voraussetzung)
  - Aufstellung nach theoret. Angriffszone!?

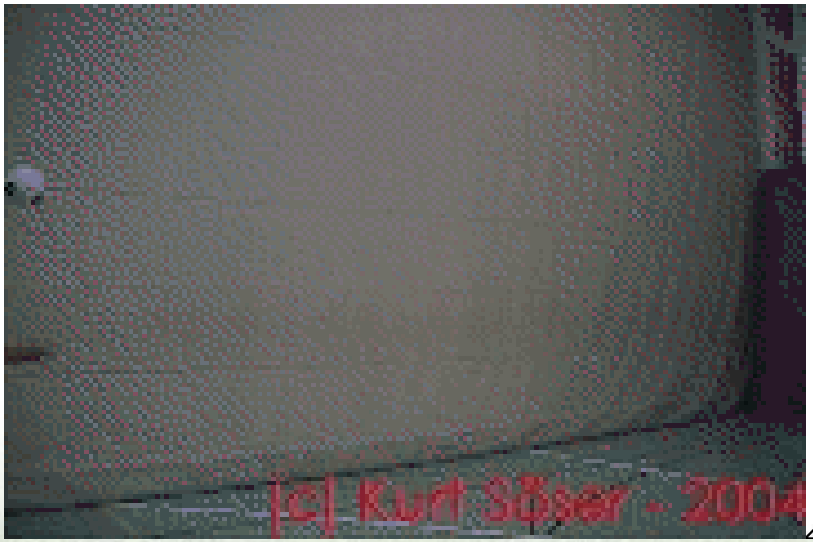
Ball-Boden-Kontakt

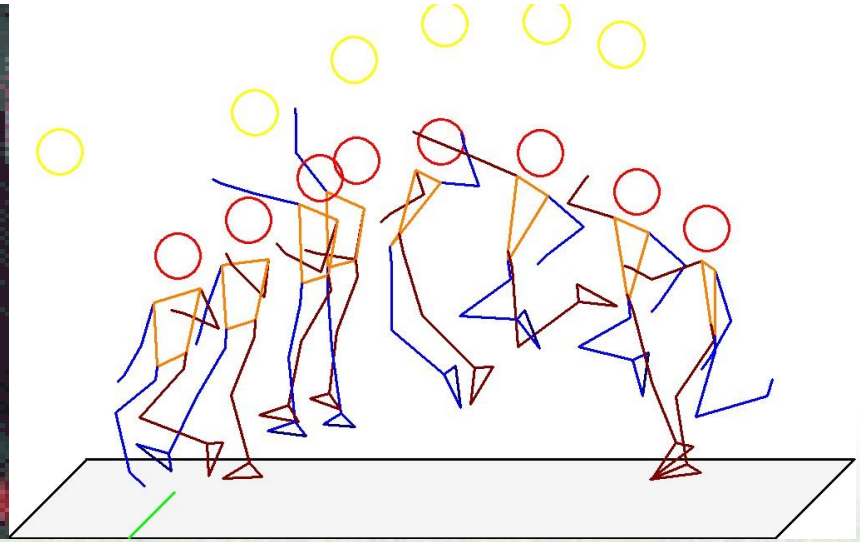


Diplomarbeit 2004

www.oefbb.at

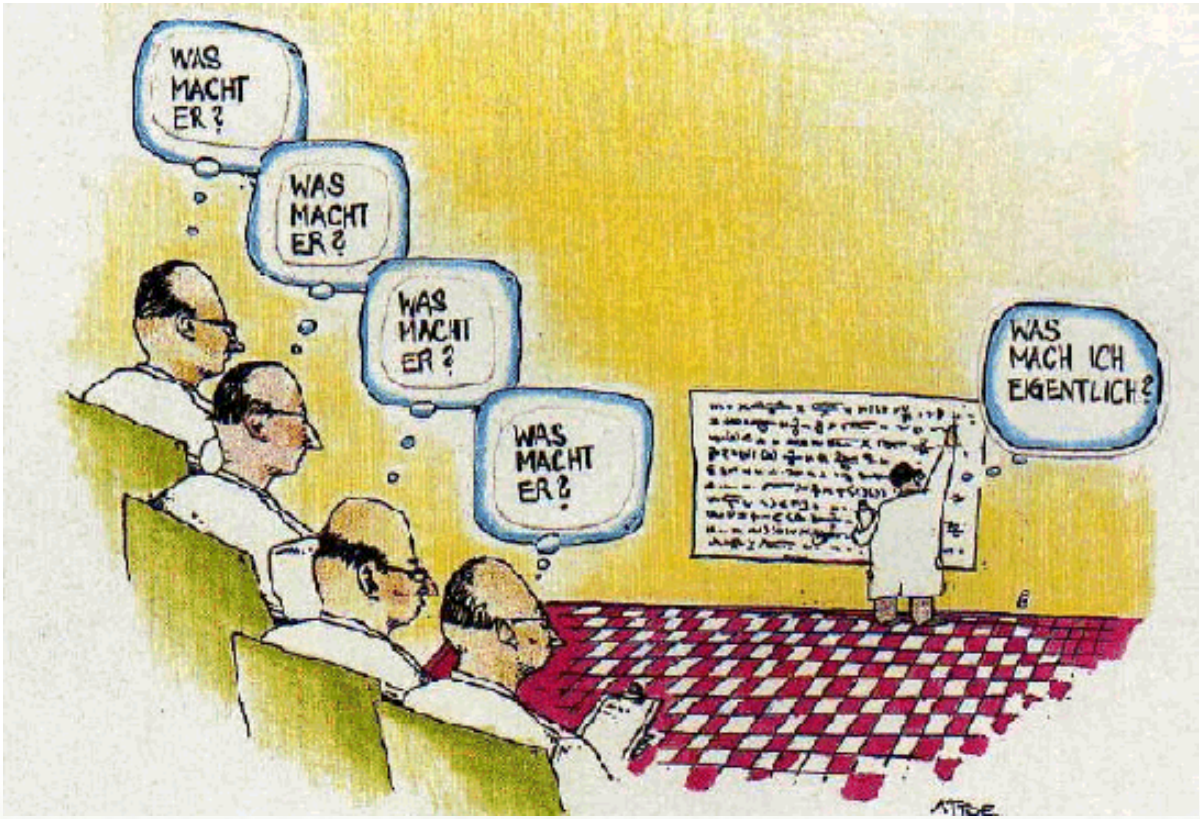
Eine 3-dimensionale, kinematische Analyse von Stand- und Sprungservice im Sportspiel Faustball





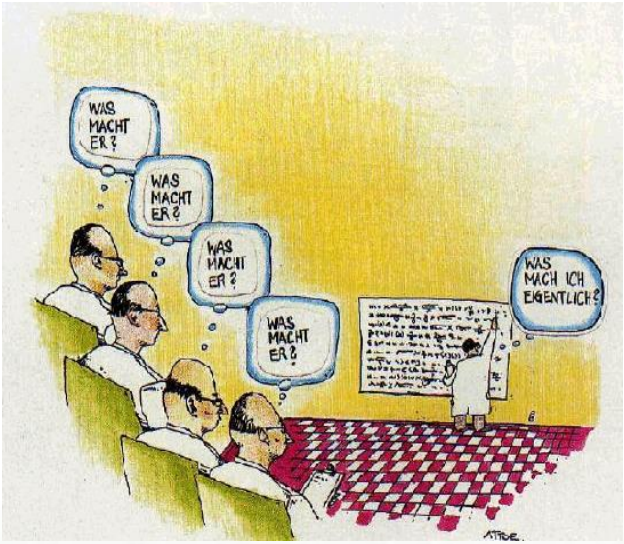
Diplomarbeit 2004

Einleitung


WAS MACHT ER?
WAS MACHT ER?
WAS MACHT ER?
WAS MACHT ER?
WAS MACH ICH EIGENTLICH?

Motivation

- Kinematik?
  - Räumliche, zeitliche Parameter
    - Länge, Zeit, Winkel, Geschwindigkeit, Beschleunigung,…
  - ~~Kraft~~
- 3-dimensional
  - Unbedingt notwendig



Motivation

- Service – die effektivste „Waffe“
  - EM 2000 – Finale

Österreich		Service	Deutschland	
Gesamt 48:62	in %		Gesamt 62:48	in %
13	22	Punkte	14	29
43	73	abgewehrt	26	54
3	5	Fehler	8	17

  - WG 2001 - Finale

Österreich		Service	Deutschland	
Gesamt 57:52	in %		Gesamt 52:57	in %
26	48	Punkte	23	40
23	43	abgewehrt	32	56
5	9	Fehler	2	4

Almhofer (2003)

Motivation

Österreich WM 1999	*26*	*17*	*65,4 %*
Deutschland WM 1999	*40*	*17*	*42,5 %*

Gesamt	**568**	**190**	**33,5 %**

Almhofer (2003)

Untersuchung - Idee

- Erhebung von 3D-Daten
- Vergleich zwischen „guten“ und „schlechten“ Spielern
- Herausfilterung von leistungsbestimmenden Parametern

Untersuchung – Methodik

Datenaufnahme

Probanden (Standservice) (n = 19)



Standservice	Alter (a)	Masse (kg)	Größe (m)
Gruppe S1 (n=4) (Top-Niveau)	**23.3** (± 1.9)	**88.8** (± 6.1)	**1.89** (± 0.04)
Gruppe S2 (n=8) (mittl. Niveau)	**24.6** (± 7.6)	**69.9** (± 8.2)	**1.79** (± 0.05)
Gruppe S3 (n=7) (niedr. Niveau)	**19.1** (+ 3.7)	**72.3** (± 10.3)	**1.77** (± 0.05)

Methodik- Datenaufnahme

<u>Probanden</u> (Sprungservice)

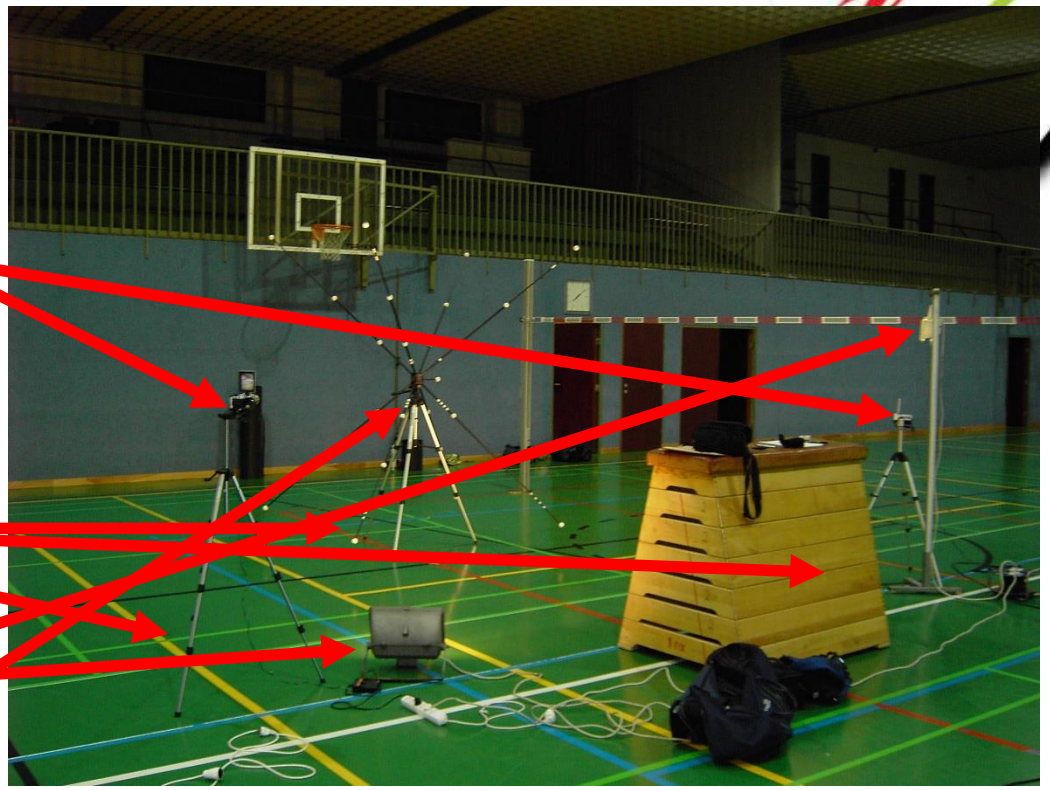
(n = 9)

Sprungservice	*Alter (a)*	*Masse (kg)*	*Größe (m)*
Gruppe J1 (n=5) (Top-Spieler)	23.0 (± 4.7)	90.0 (± 6.5)	1.87 (± 0.05)
Gruppe J2 (n=4) (niedr. Niveau)	18.3 (± 3.3)	67.3 (± 2.9)	1.74 (± 0.04)

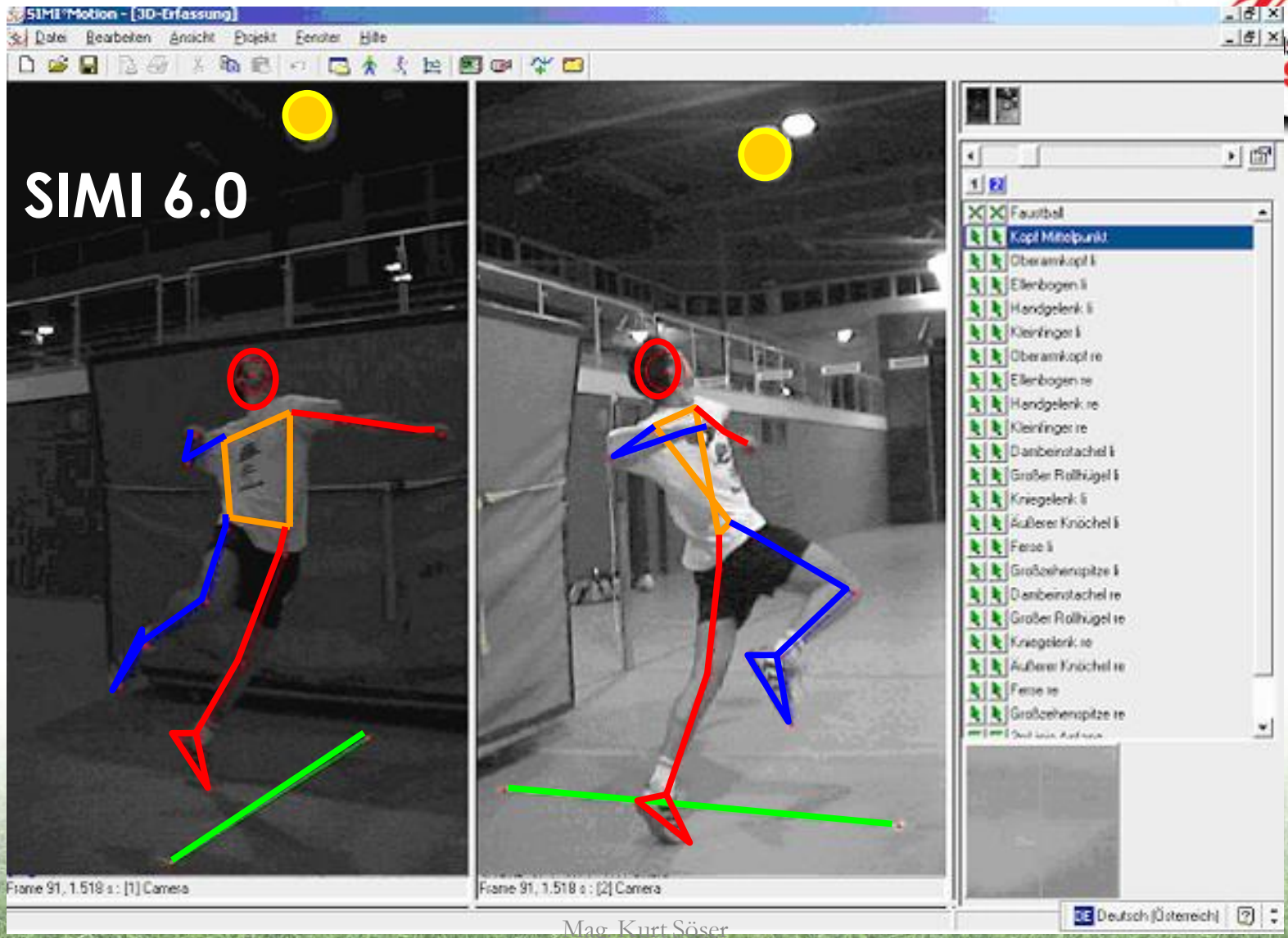


Methodik- Datenaufnahme

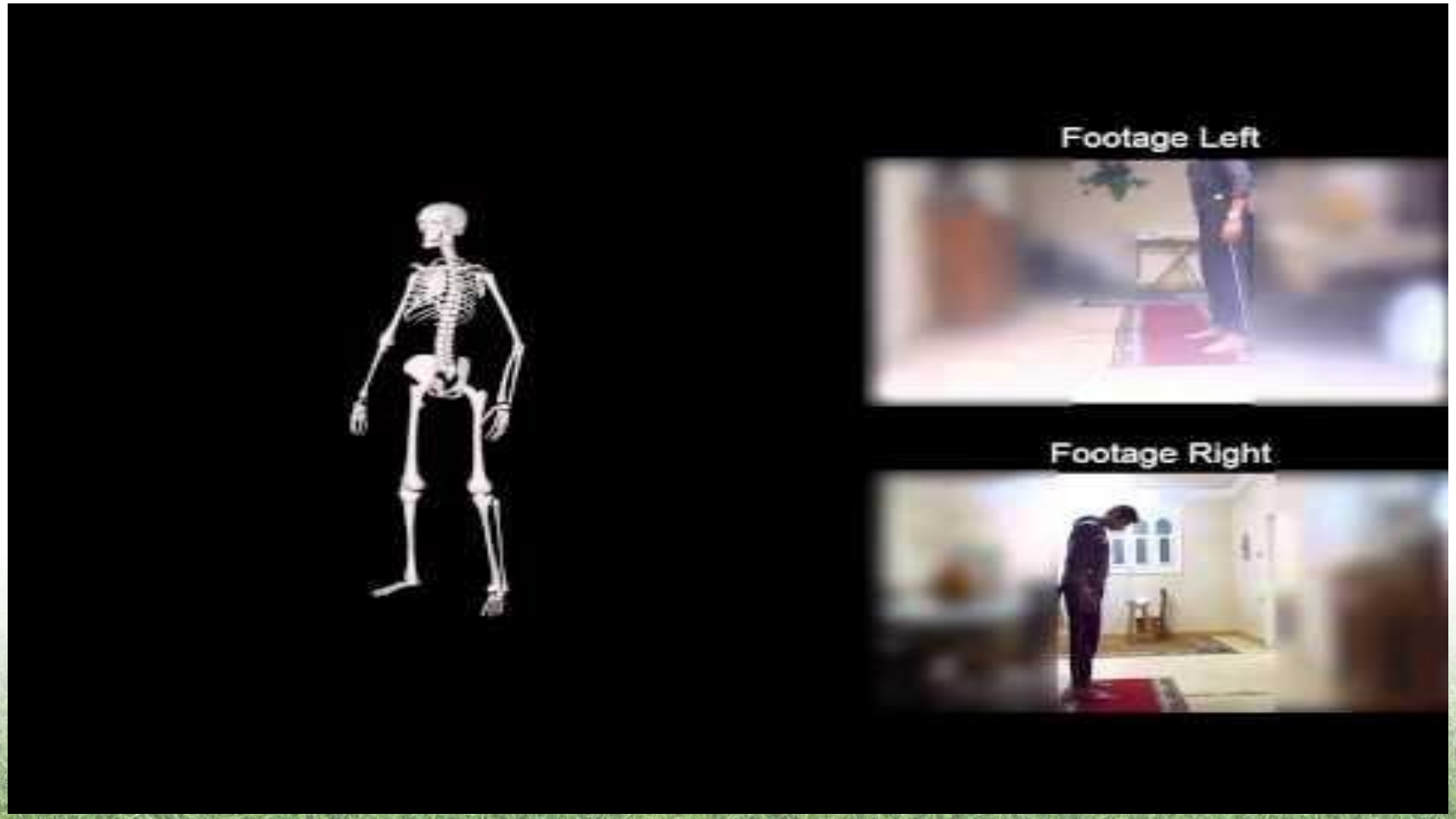
- Aufbau:
  - –2 digitale JVC-Videokameras
    - 60 Hz
    - Shutter: 1/500 s
  - –3 Stative
  - –2 Scheinwerfer
  - –Kalibration-Kubus(25 Koordinaten)
  - –Faustbälle (RGW; Druck 0,65 bar)
  - –Faustball-Feld (Halle)



Methodik- Datenauswertung



Motion-Capture heute!



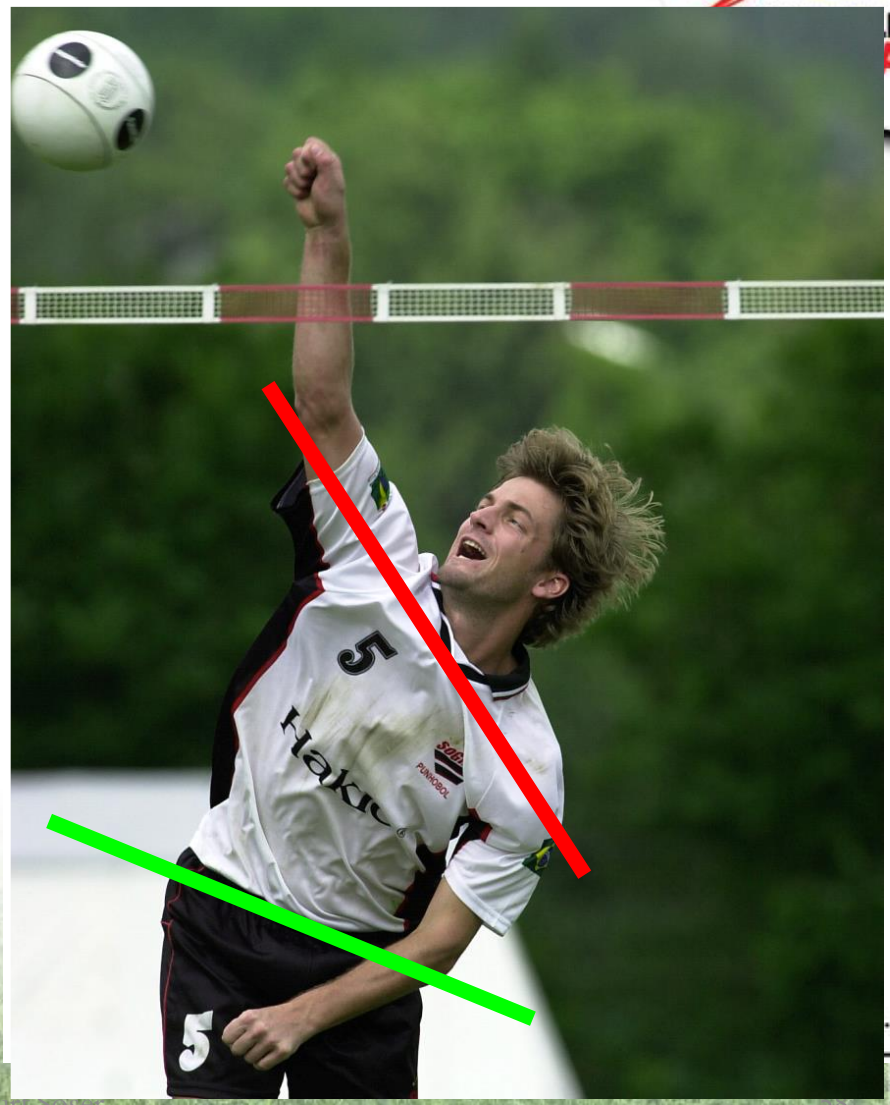
Methodik- Datenauswertung

- Parameter:
- *Geschwindigkeiten*
  - Hüfte (max.)
  - Schulter (max.)
  - Ellbogen (max.)
  - Handgelenk (max.)
  - Faust (max.)
  - Faustball (max.)



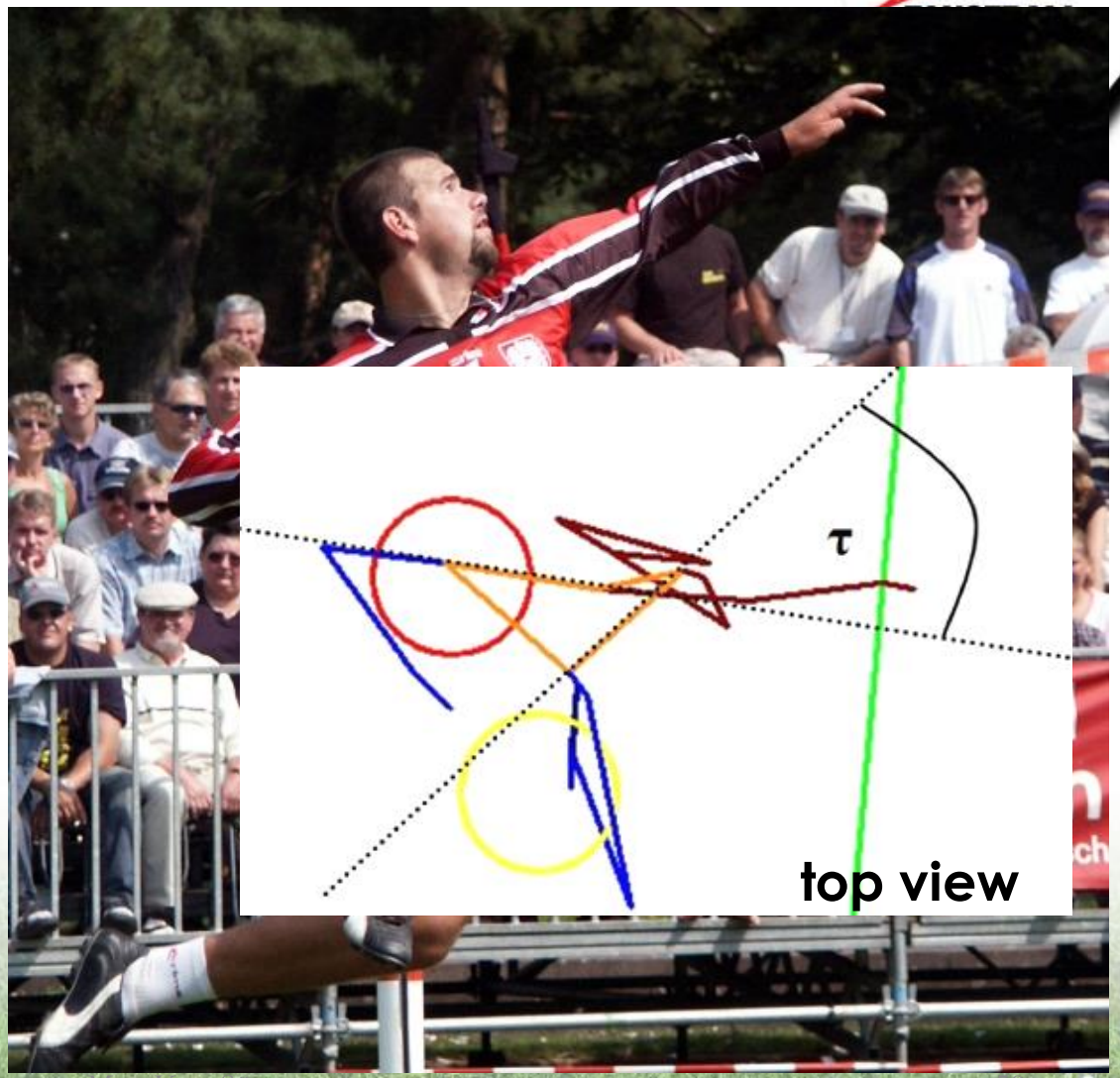
Methodik- Datenauswertung

- Parameter:
- *Winkel*
  - Schulterachse (t0)
  - Beckenachse (t0)



Methodik- Datenauswertung

- Parameter:
- *Winkel*
  - Torsion (max.)



Methodik- Datenauswertung

- Parameter:
- *Winkel*
  - Abspreizwinkel (max.)

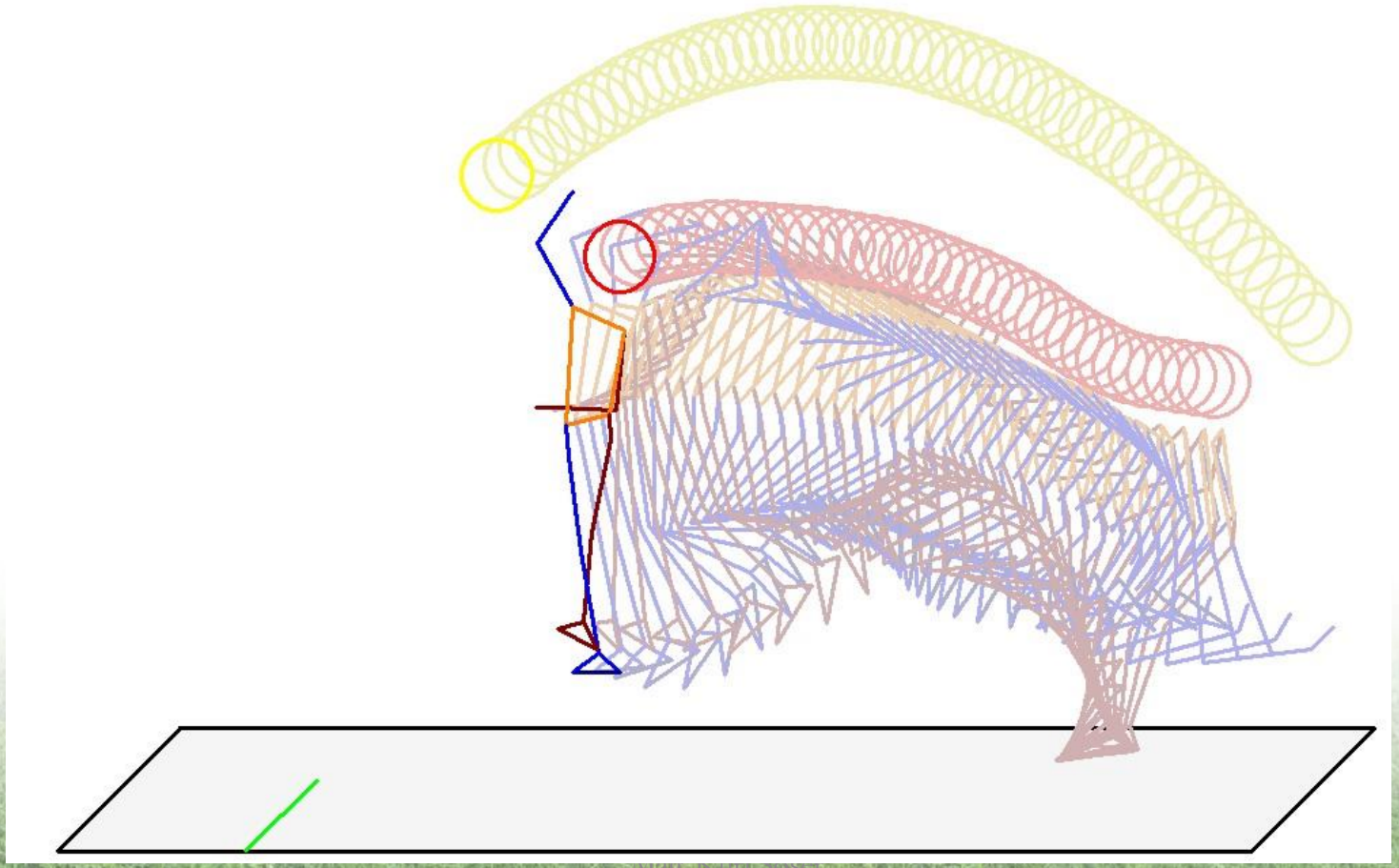


Methodik- Datenauswertung

- Parameter:
- *Ballkoordinaten*
  - Abschlaghöhe (t0)

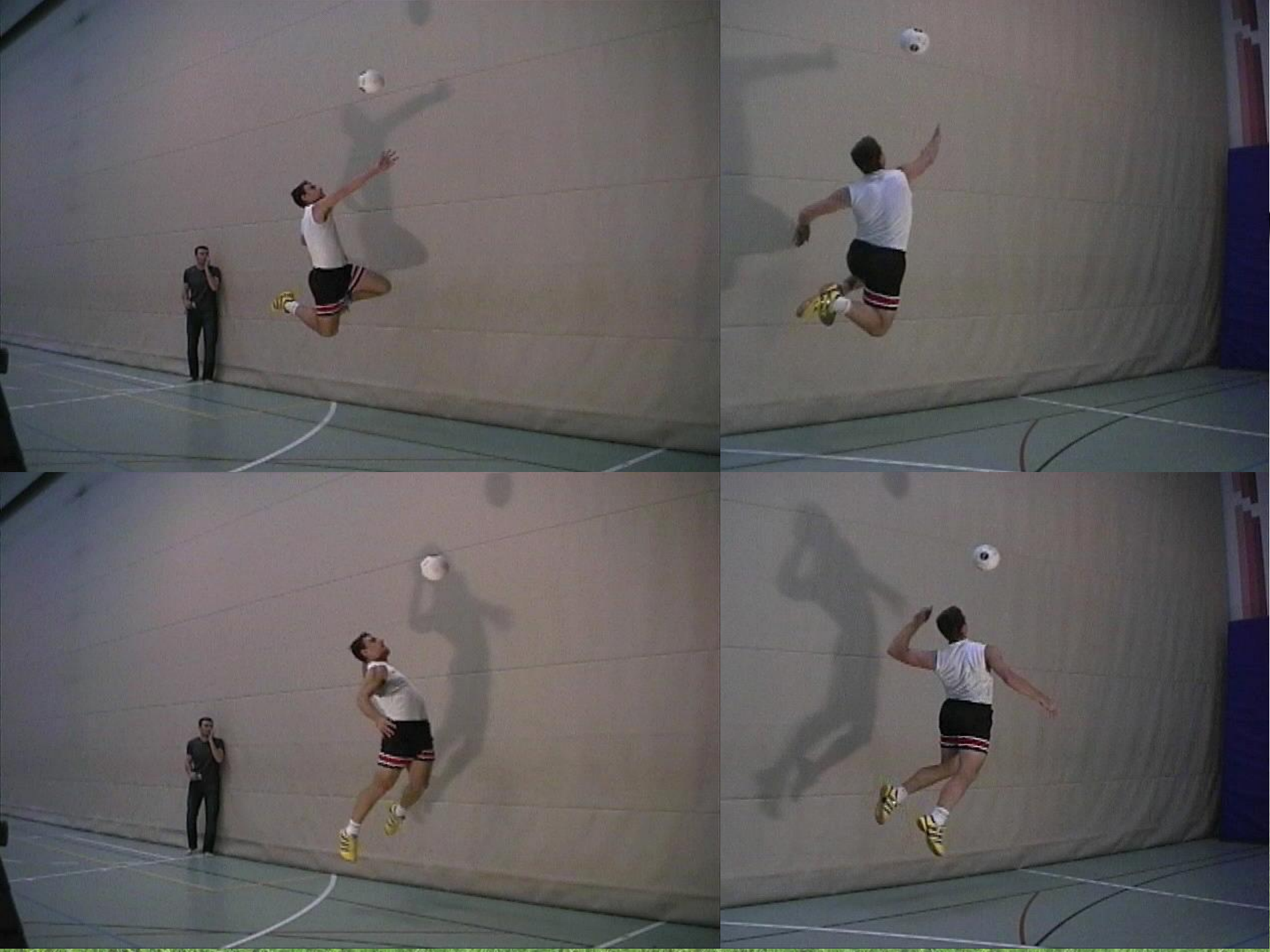


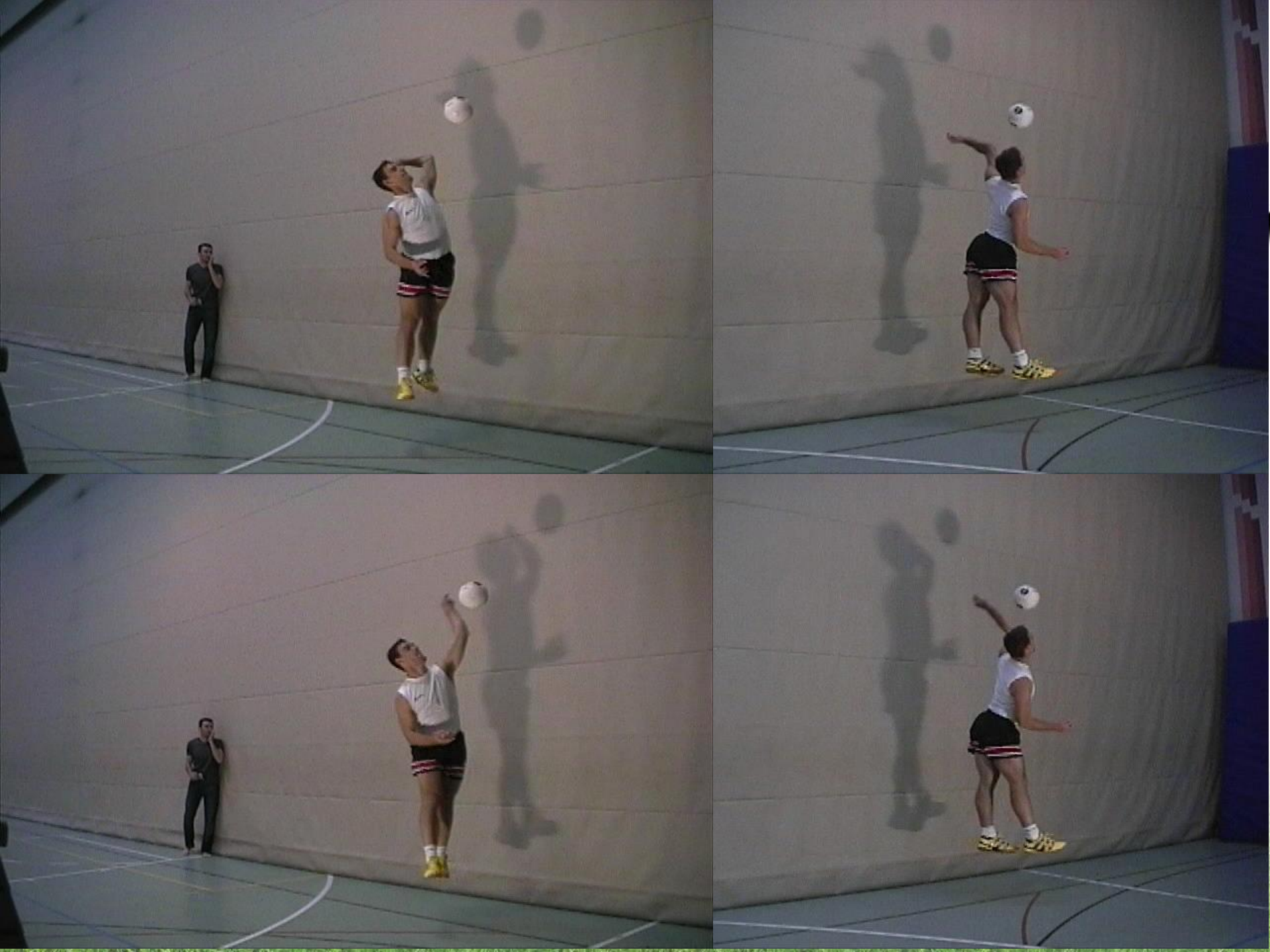
Ergebnisse - Sprungservice

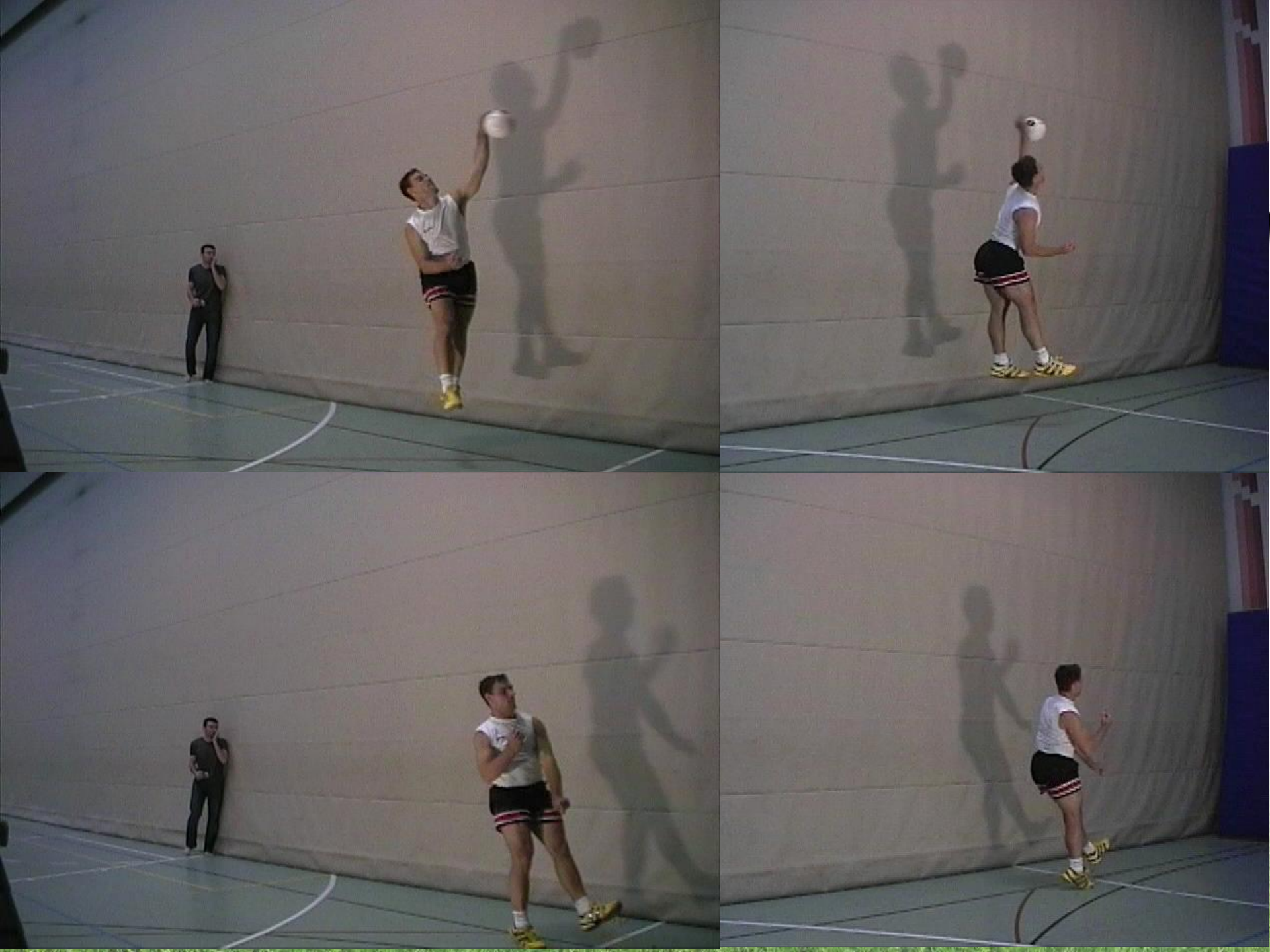






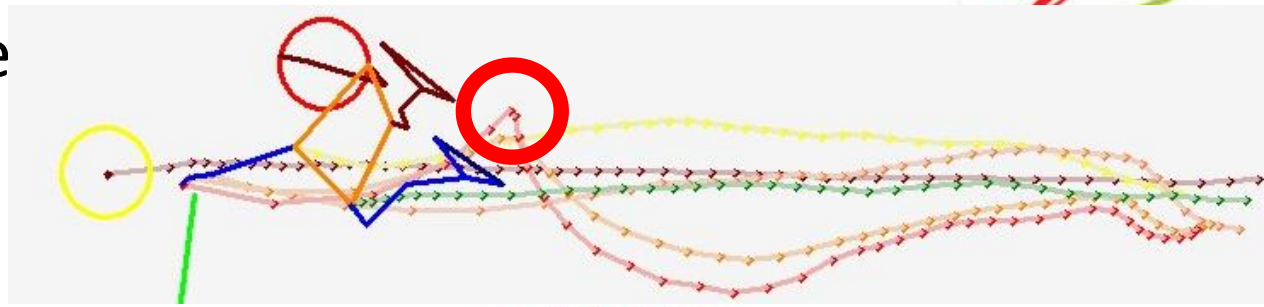



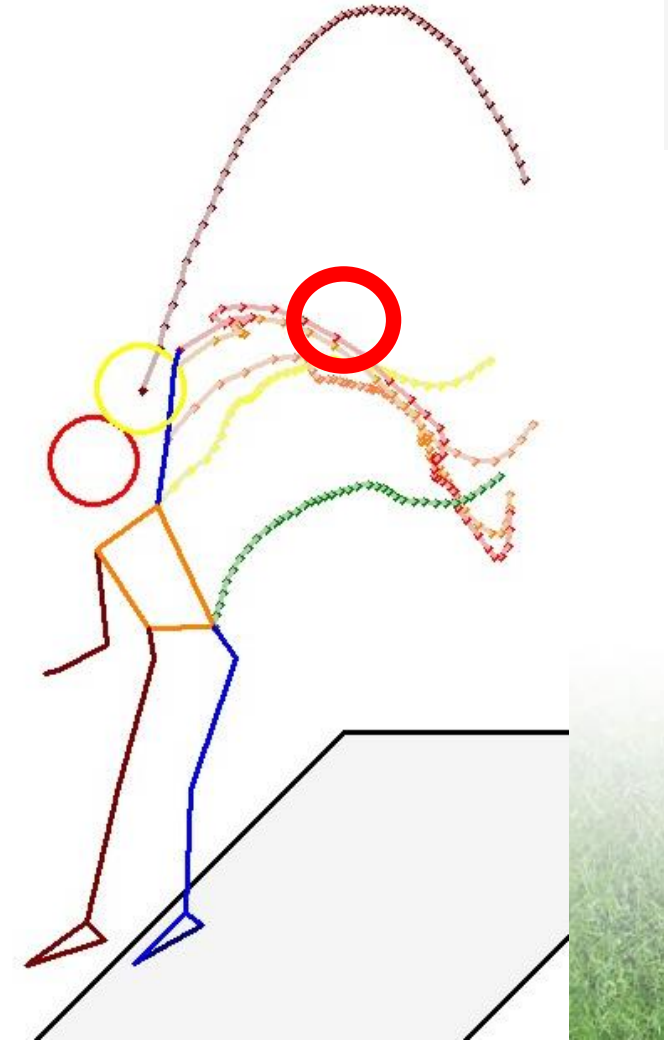


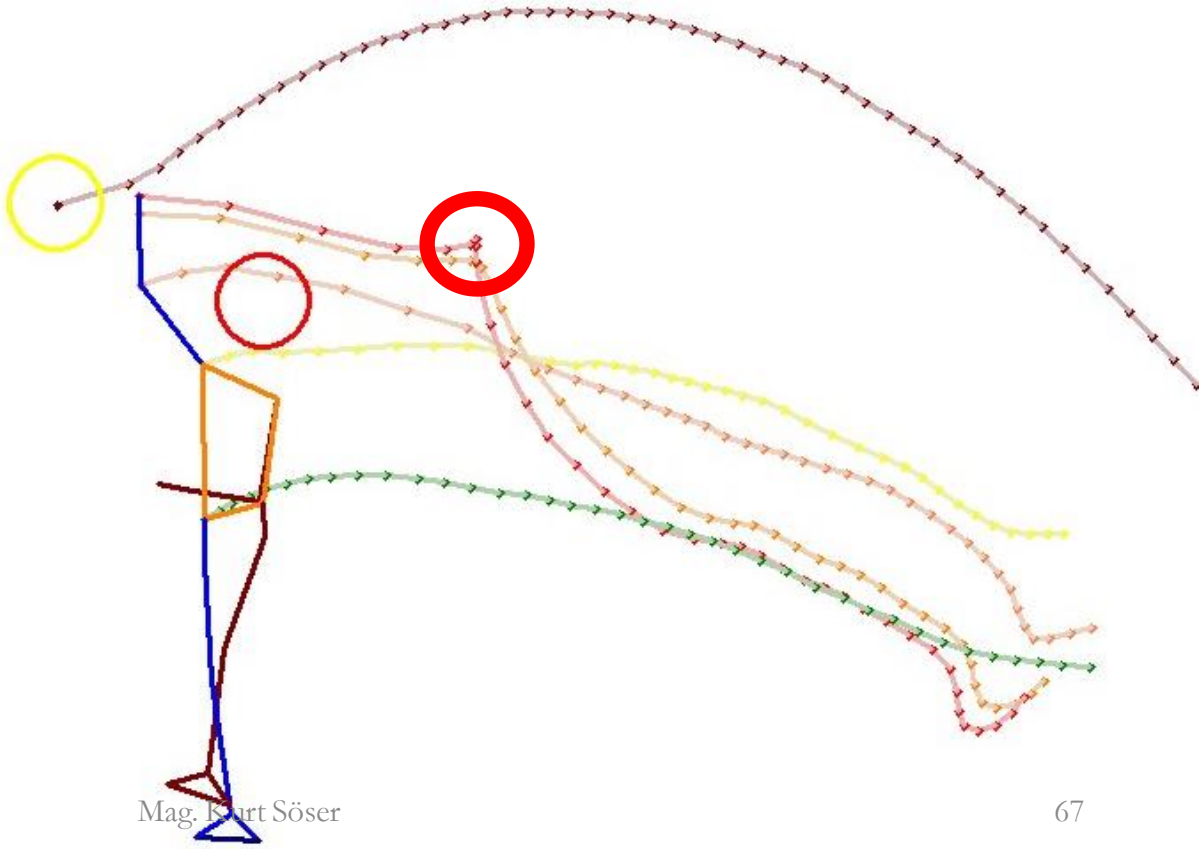


Ergebnisse - Sprungservice

- Kinegramme

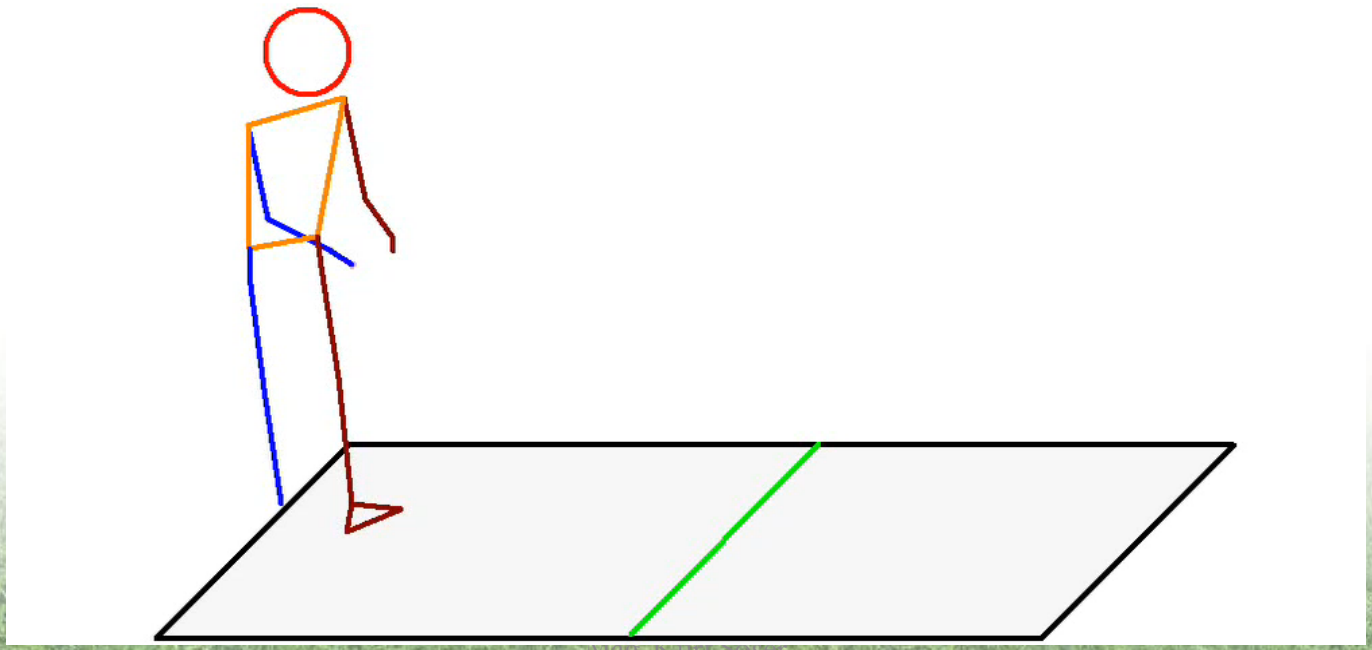


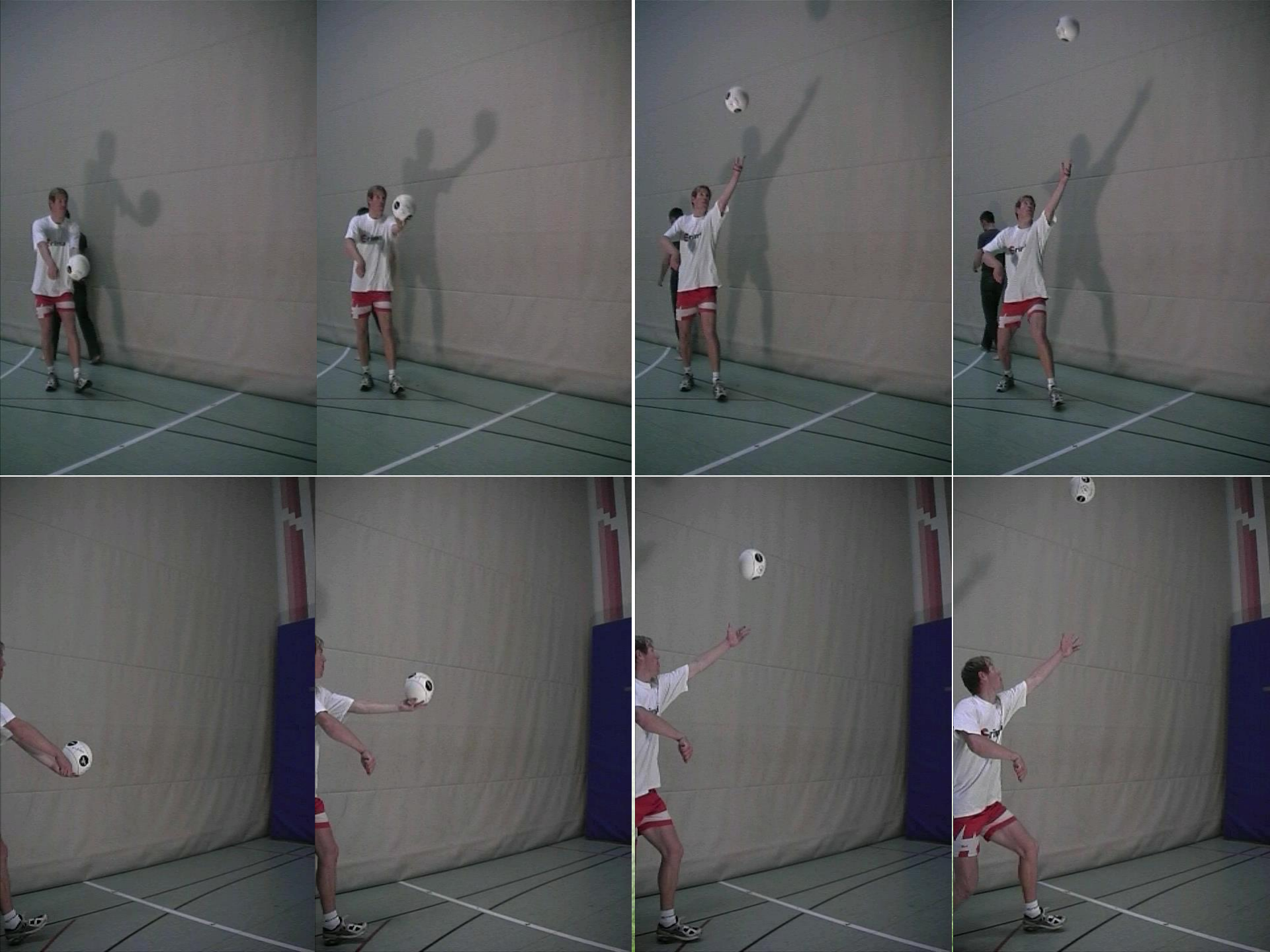




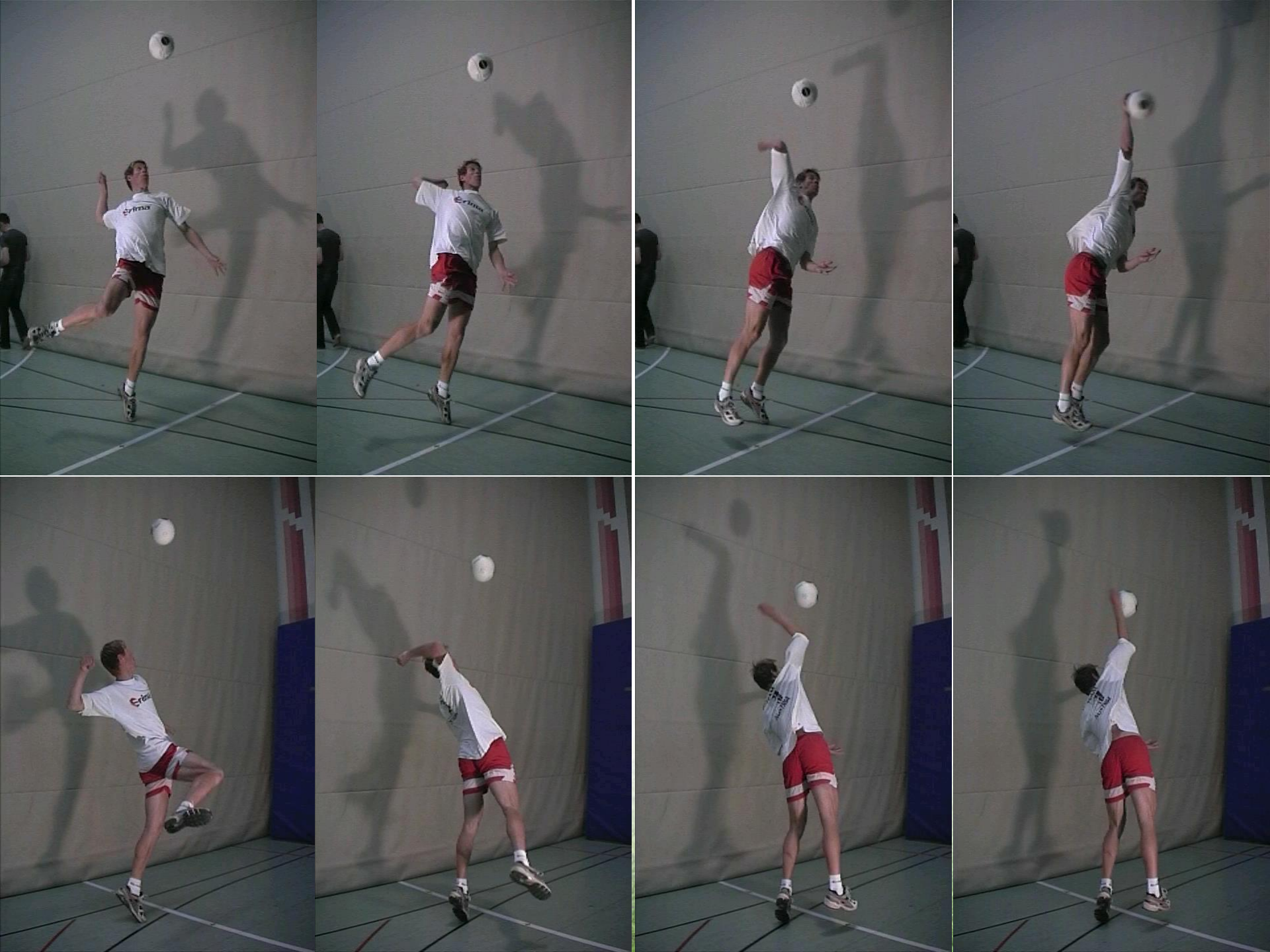
Ergebnisse - Standservice

- Animationen:





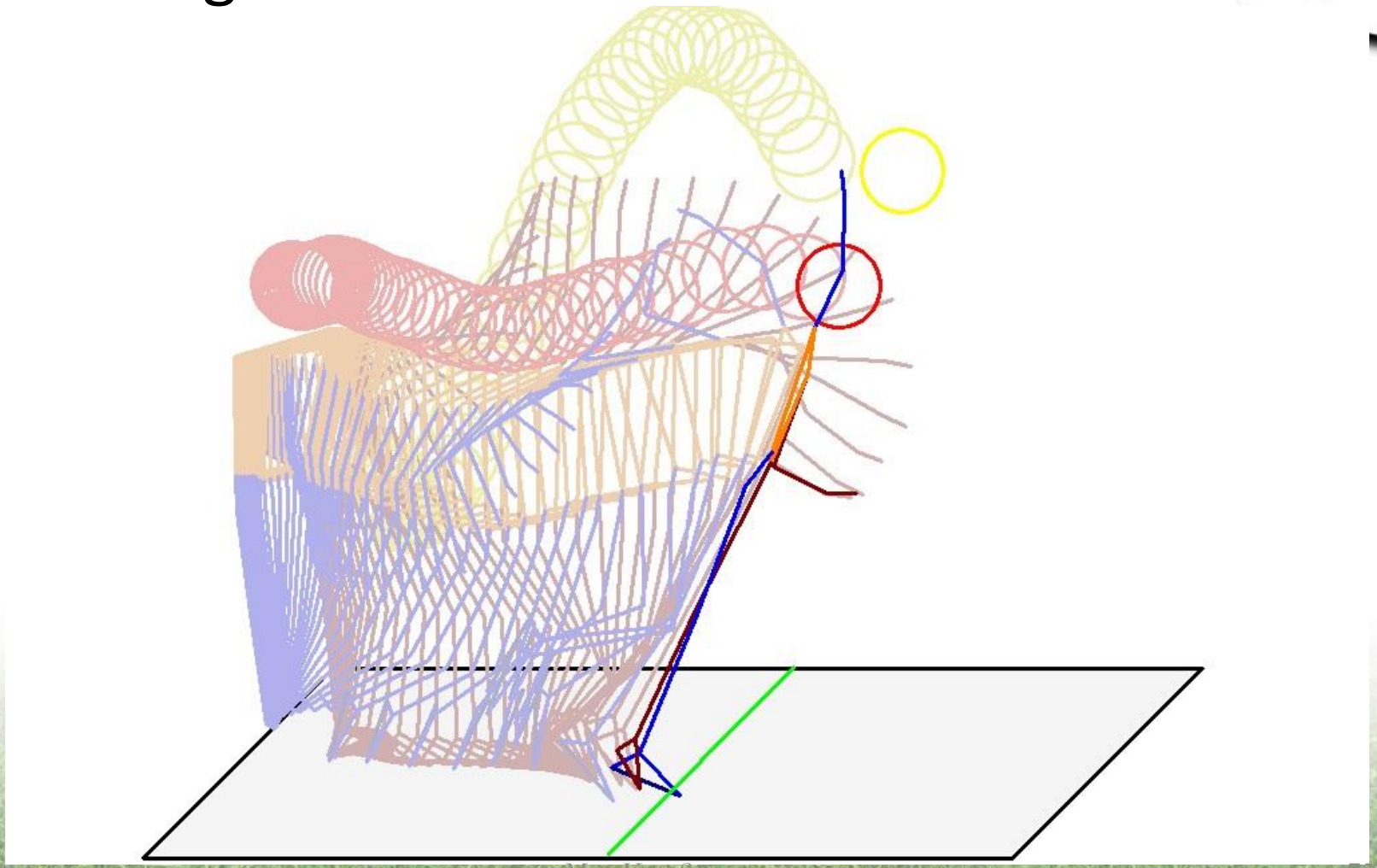






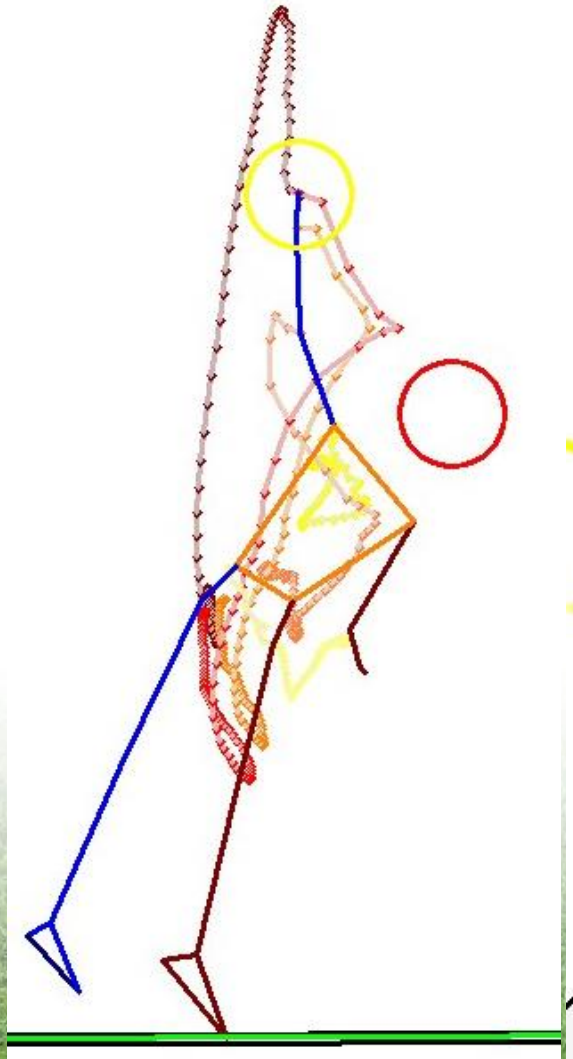
Ergebnisse - Standservice

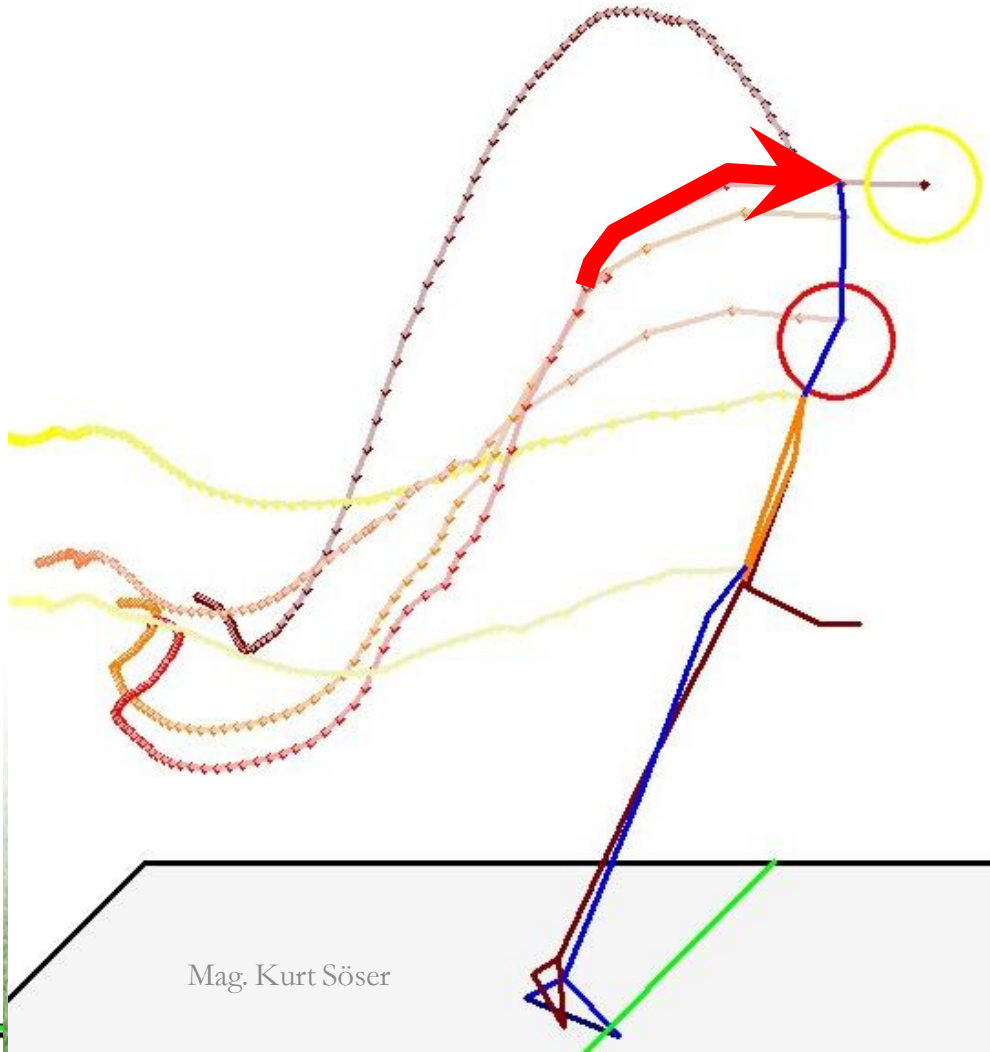
- Kinegramme:



Ergebnisse - Standservice

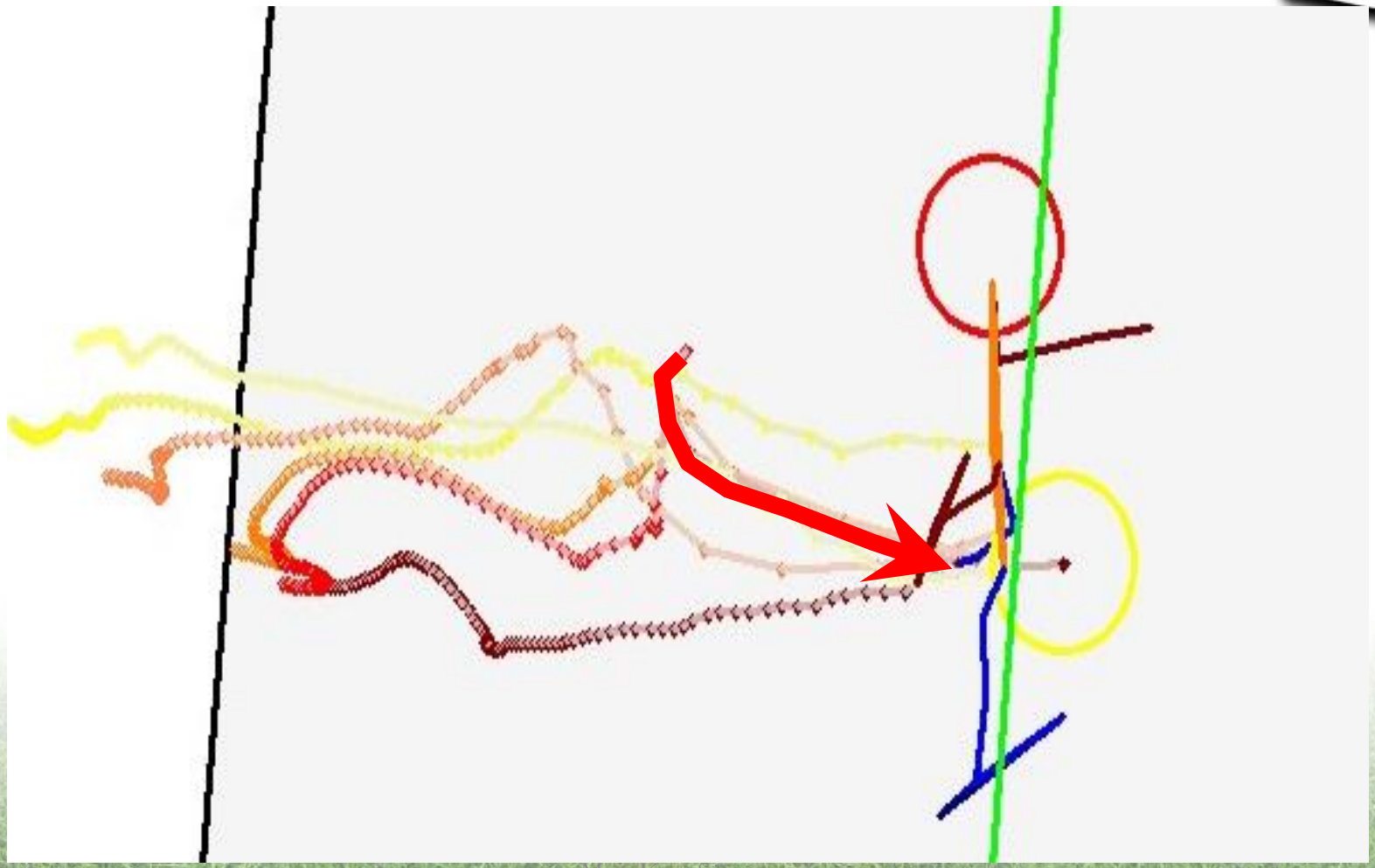
- Kinegramme:





Ergebnisse - Standservice

- Kinegramme:

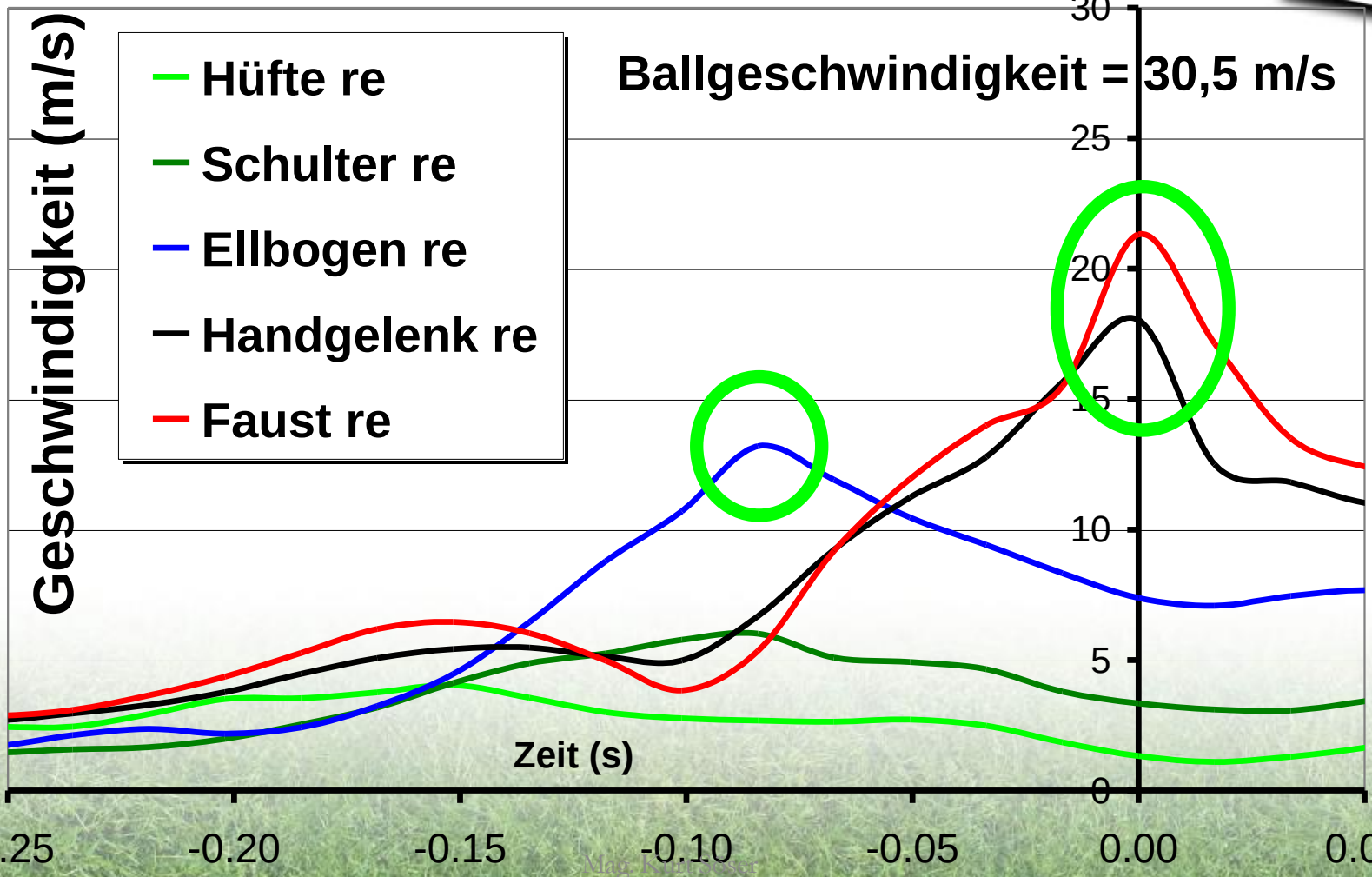


Ergebnisse - Daten

- Standservice – Sprungservice
  (1) Geschwindigkeiten
  (2) Winkel
  (3) Raumparameter
  (4) Korrelationen
  (5) Effektive Schlagmasse

(1) Ergebnisse - Standservice

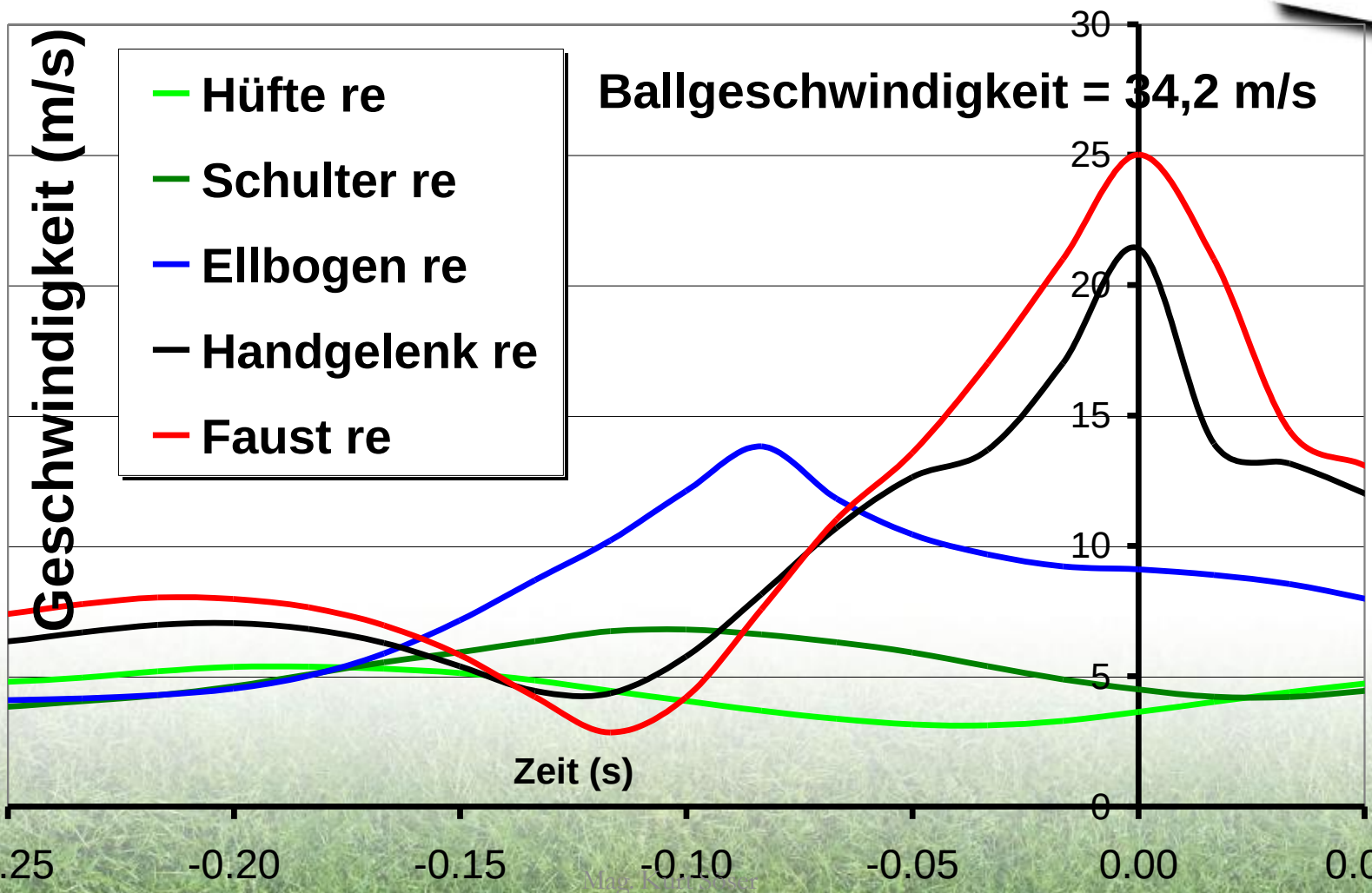
- Körperteil-Geschwindigkeiten (Prb. A):



Mag. Ruprecht

(1) Ergebnisse - Sprungservice

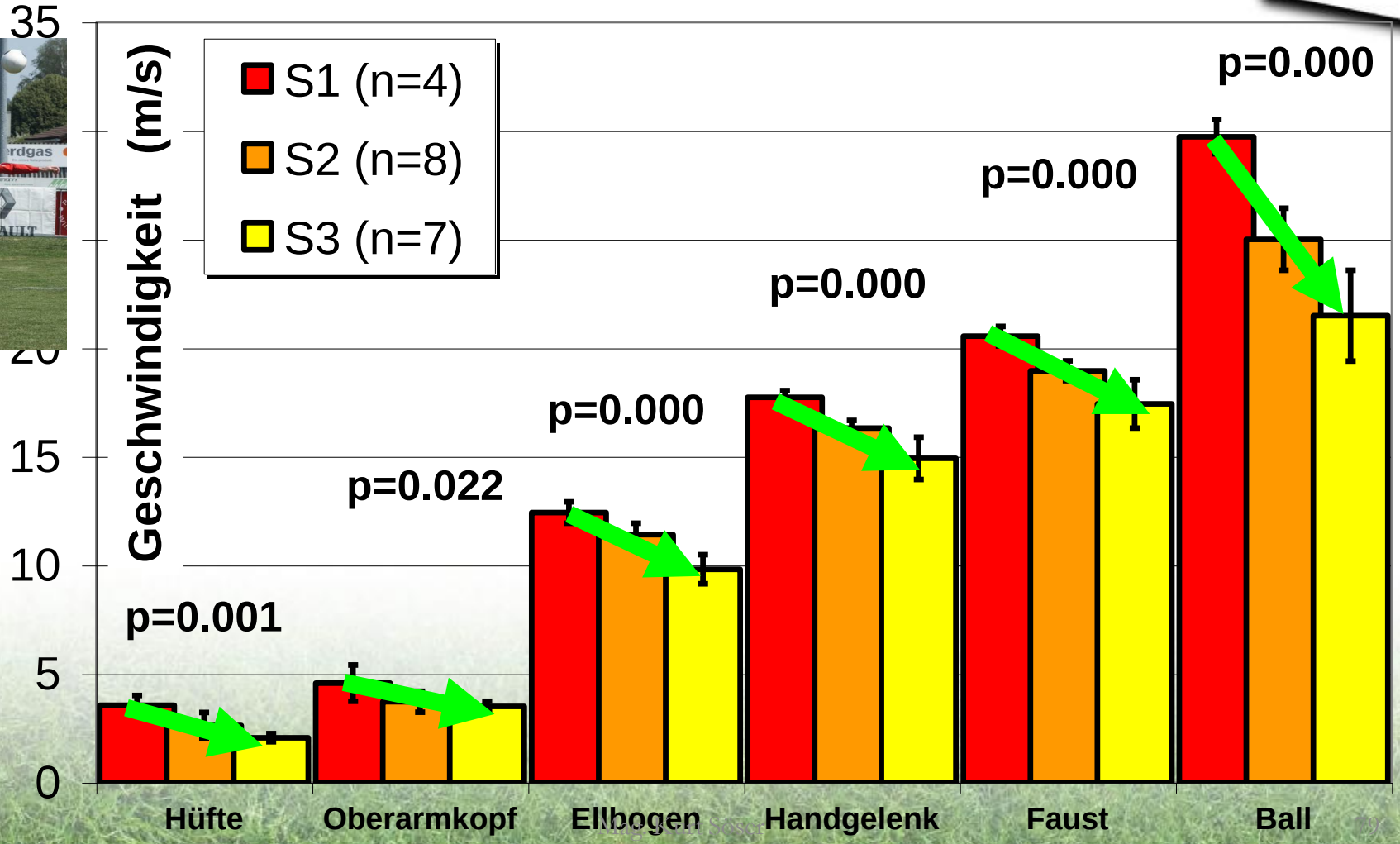
- Körperteil-Geschwindigkeiten (Prb. B):



(1) Ergebnisse - Standservice

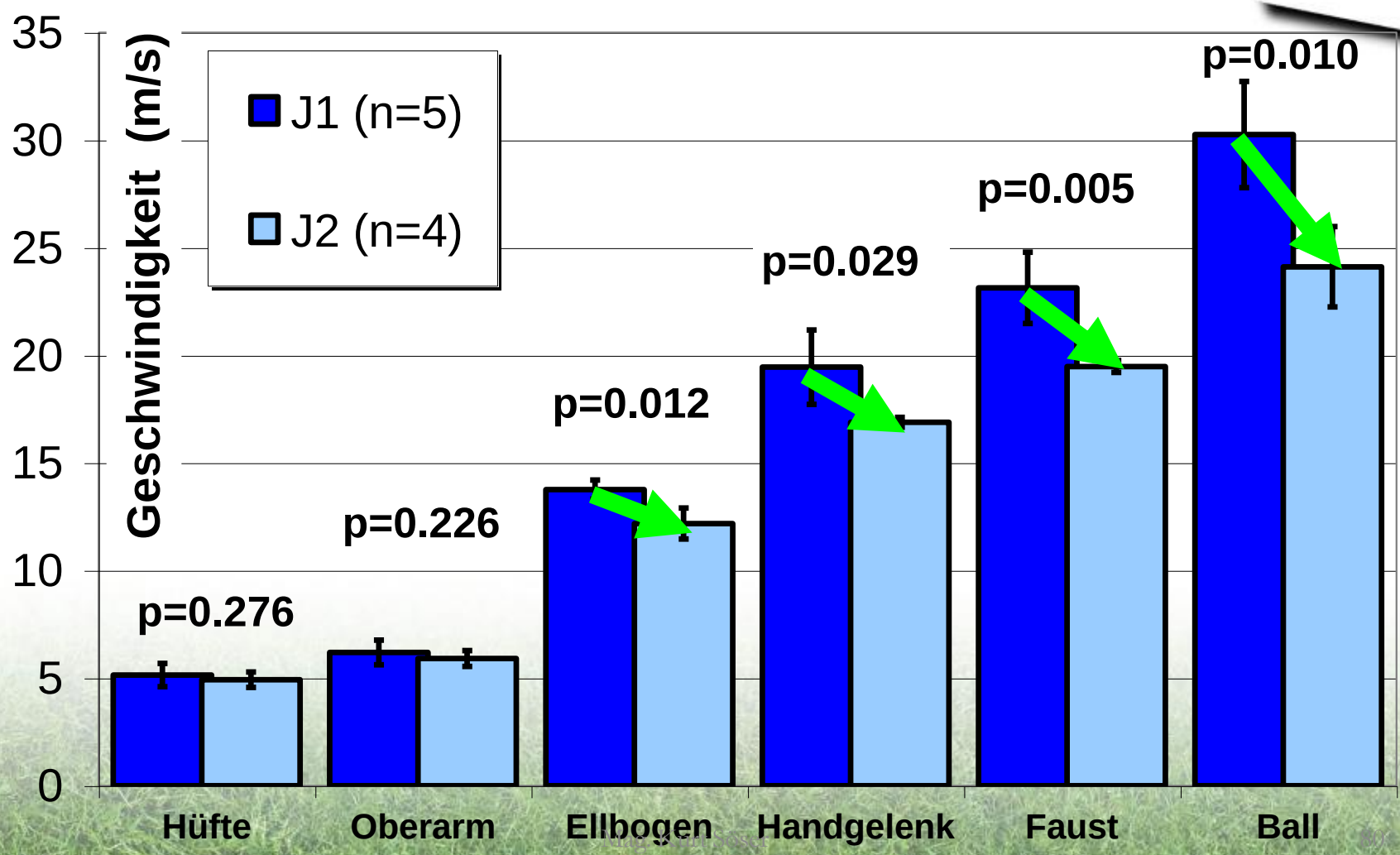
- Körperteil- und Ballgeschwindigkeiten:





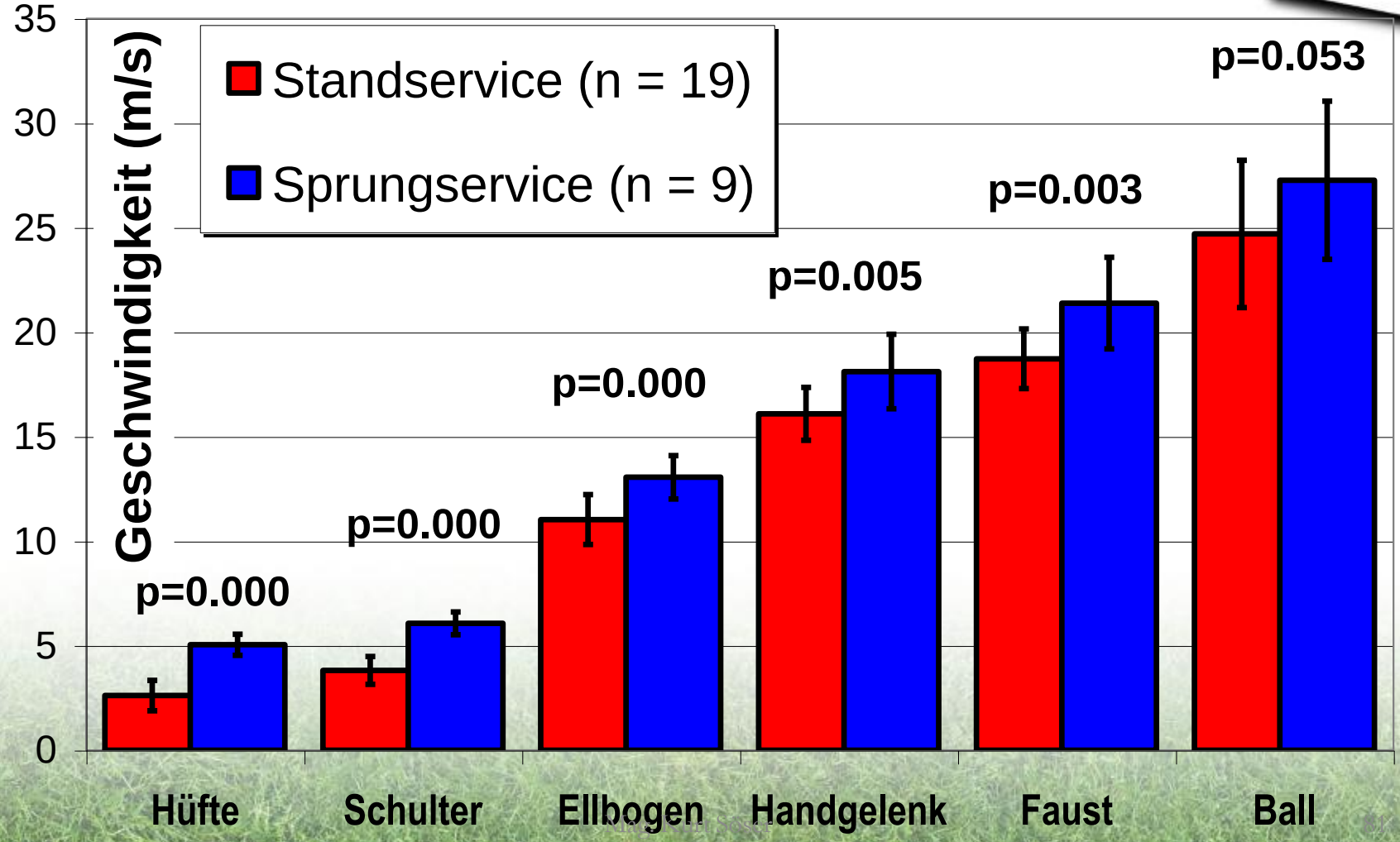
(1) Ergebnisse - Sprungservice

- Körperteil- und Ballgeschwindigkeiten:



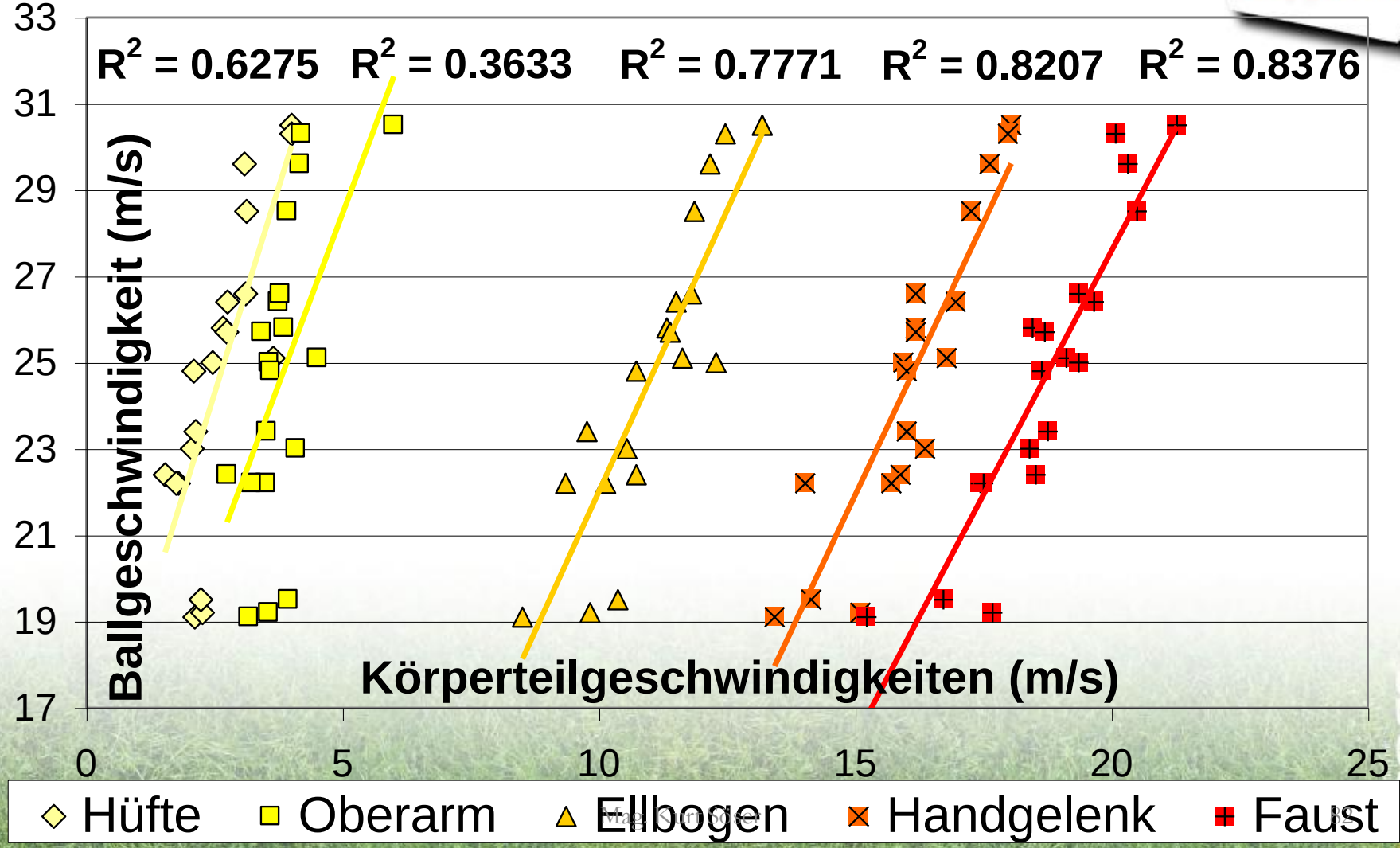
(1) Ergebnisse - Stand/Sprungservice

- Vergleich Stand- Sprungservice



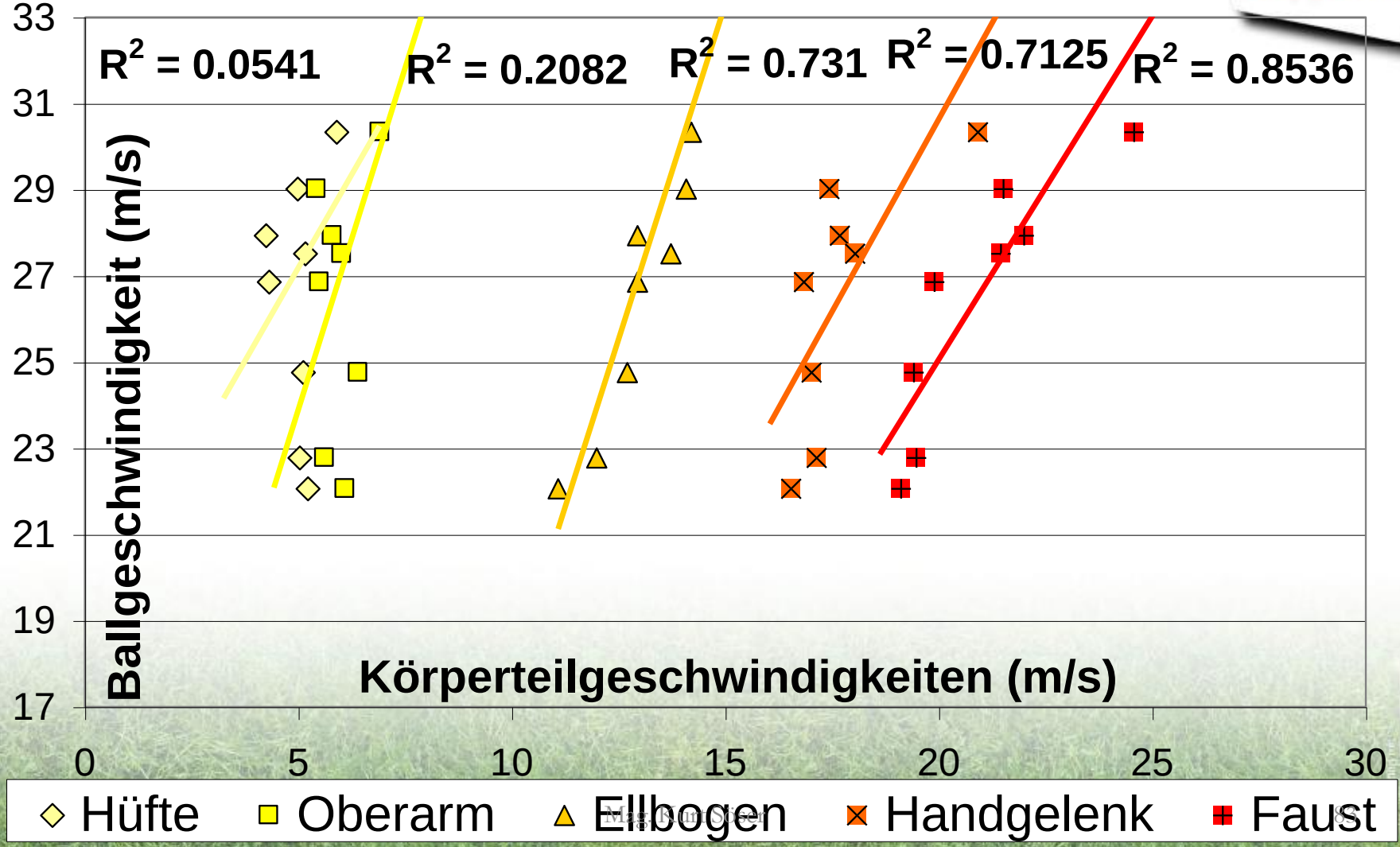
(1) Ergebnisse - Standservice

- Korrelationen



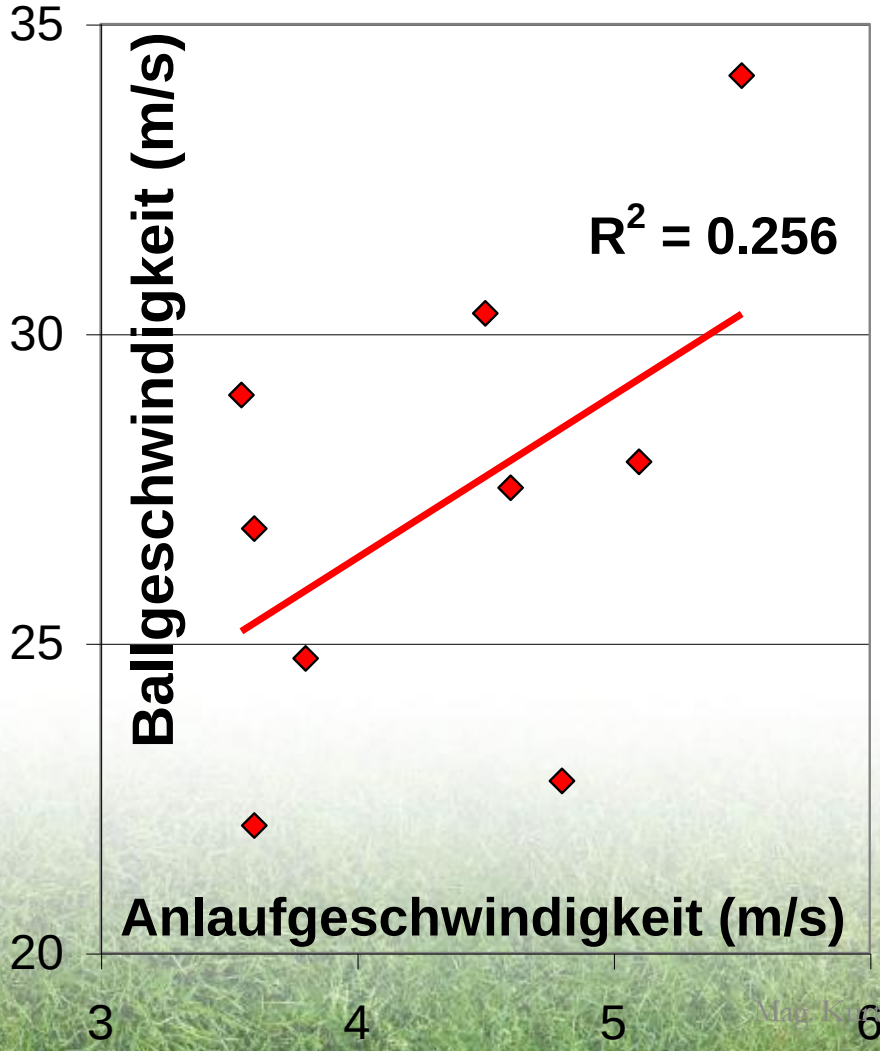
(1) Ergebnisse - Sprungservice

- Korrelationen



(1) Ergebnisse - Sprungservice

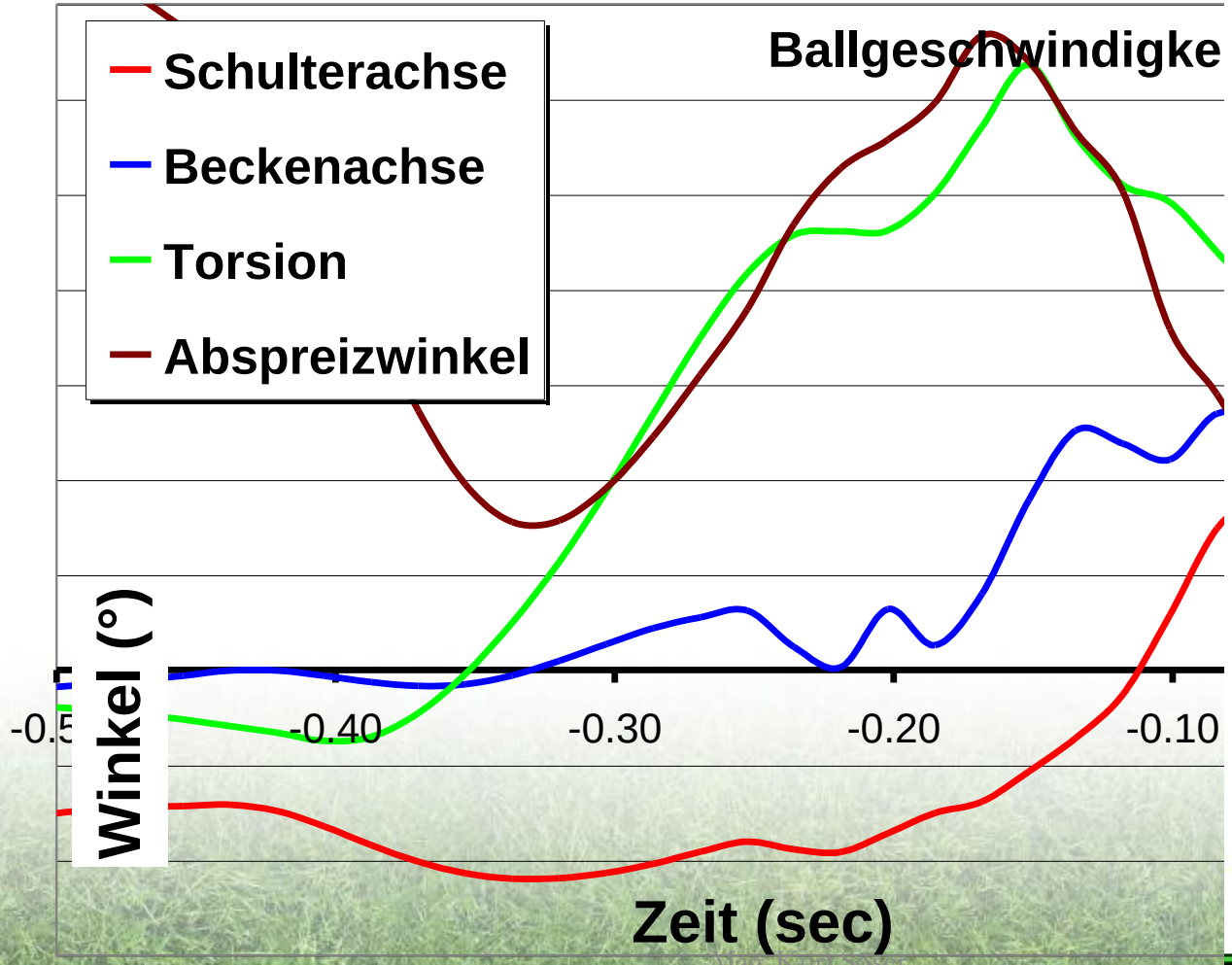
- Korrelationen

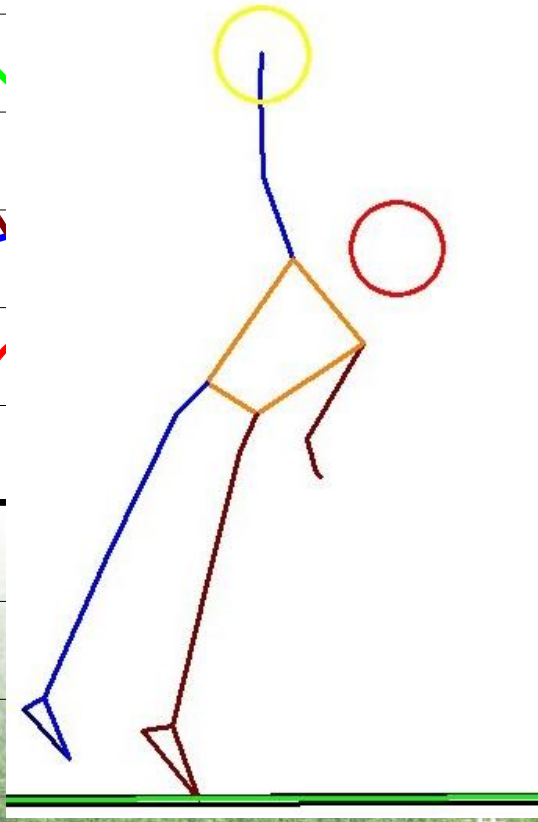


- Anlaufgeschwindigkeit nur bedingt entscheidend!
- Max. Sprungweite: 2,75m

(2) Ergebnisse - Standservice

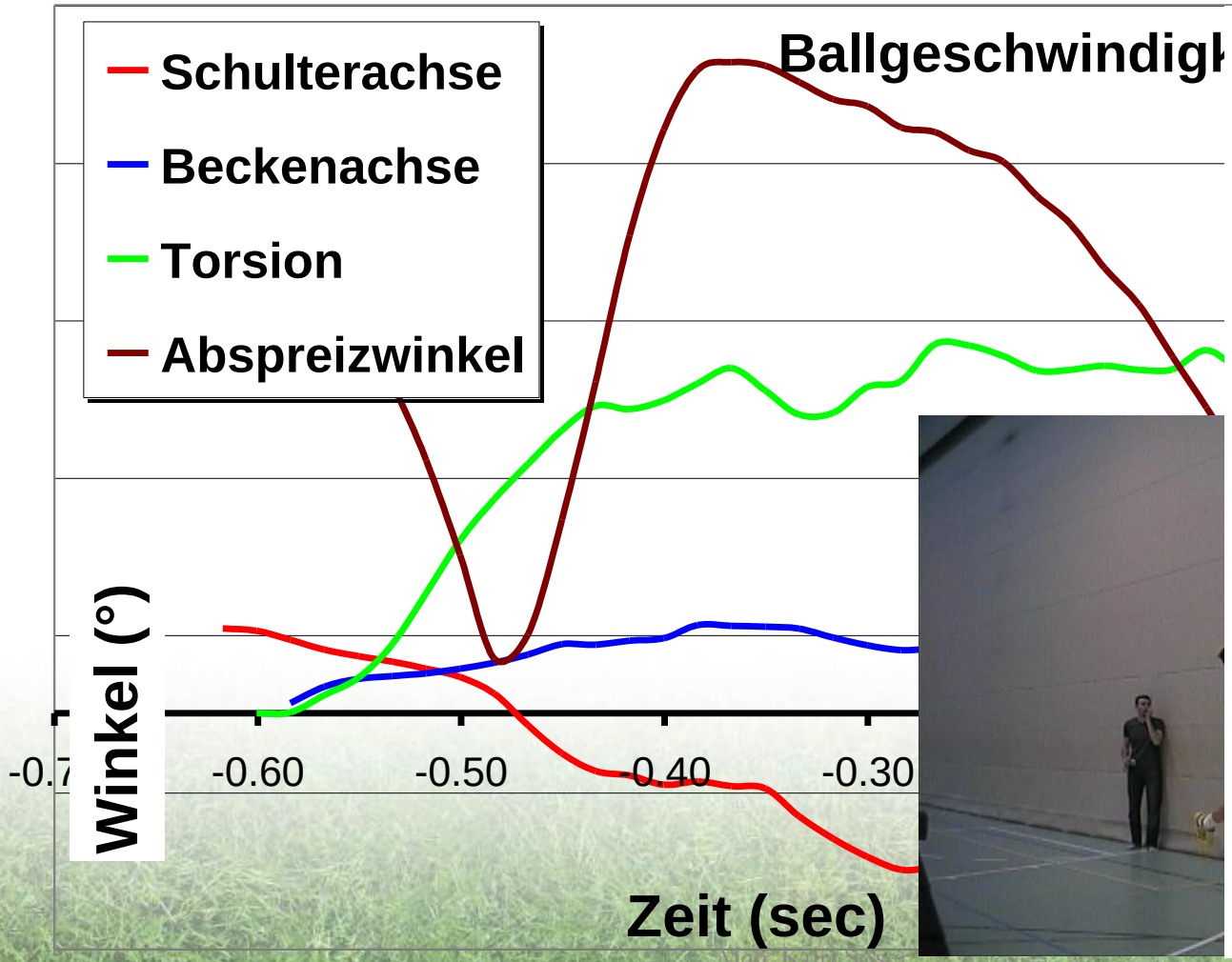
- Winkel – Verläufe

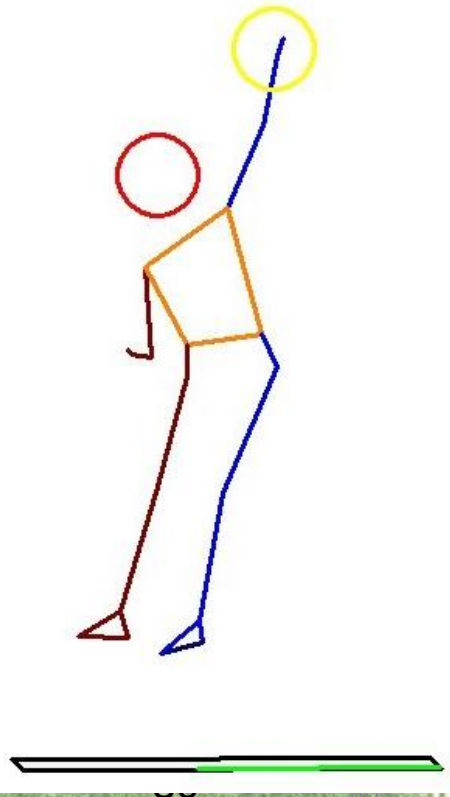




(2) Ergebnisse - Sprungservice

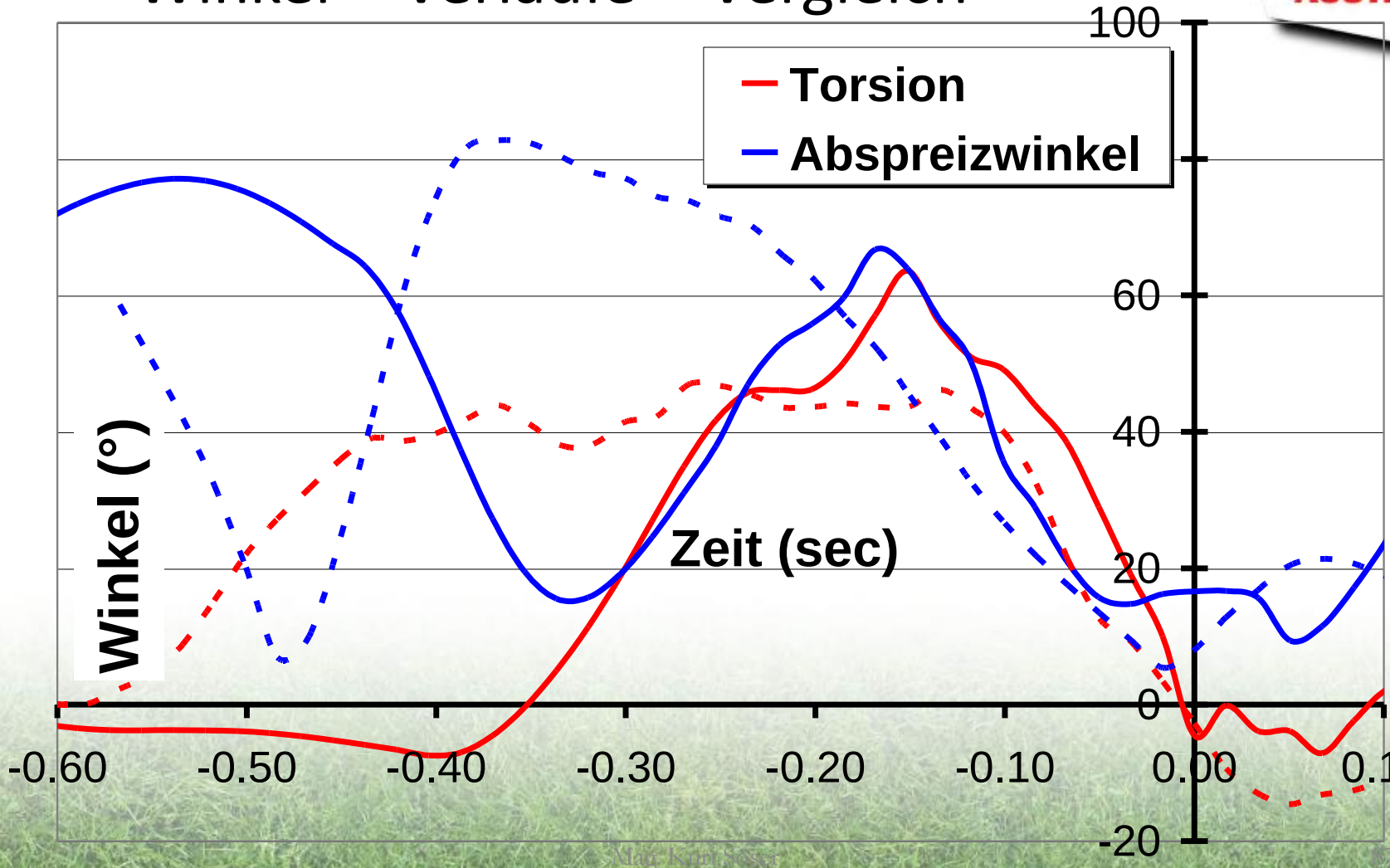
- Winkel – Verläufe





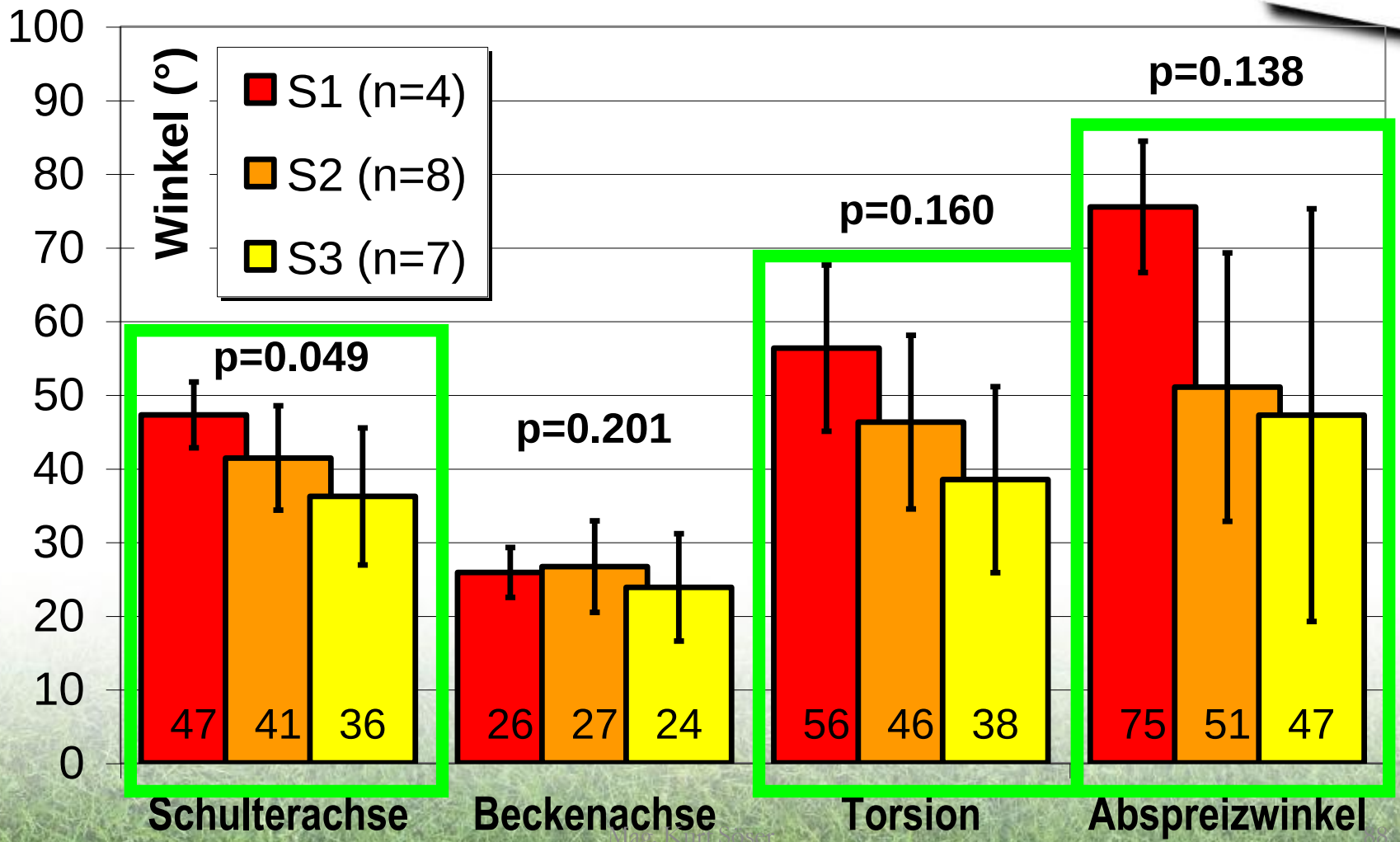
(2) Ergebnisse – Stand/Sprungservice

- Winkel – Verläufe – Vergleich



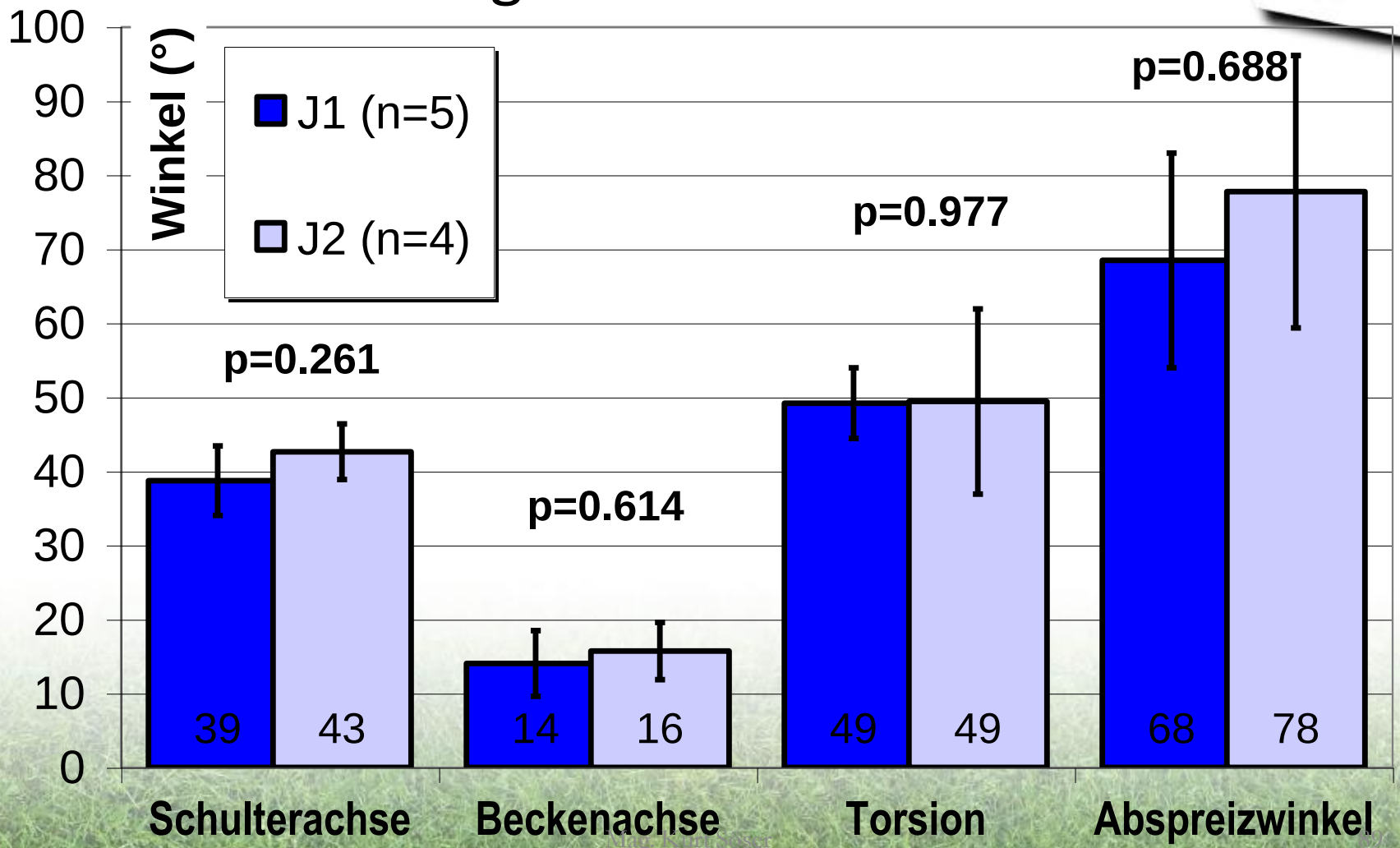
(2) Ergebnisse - Standservice

- Winkel – Vergleich



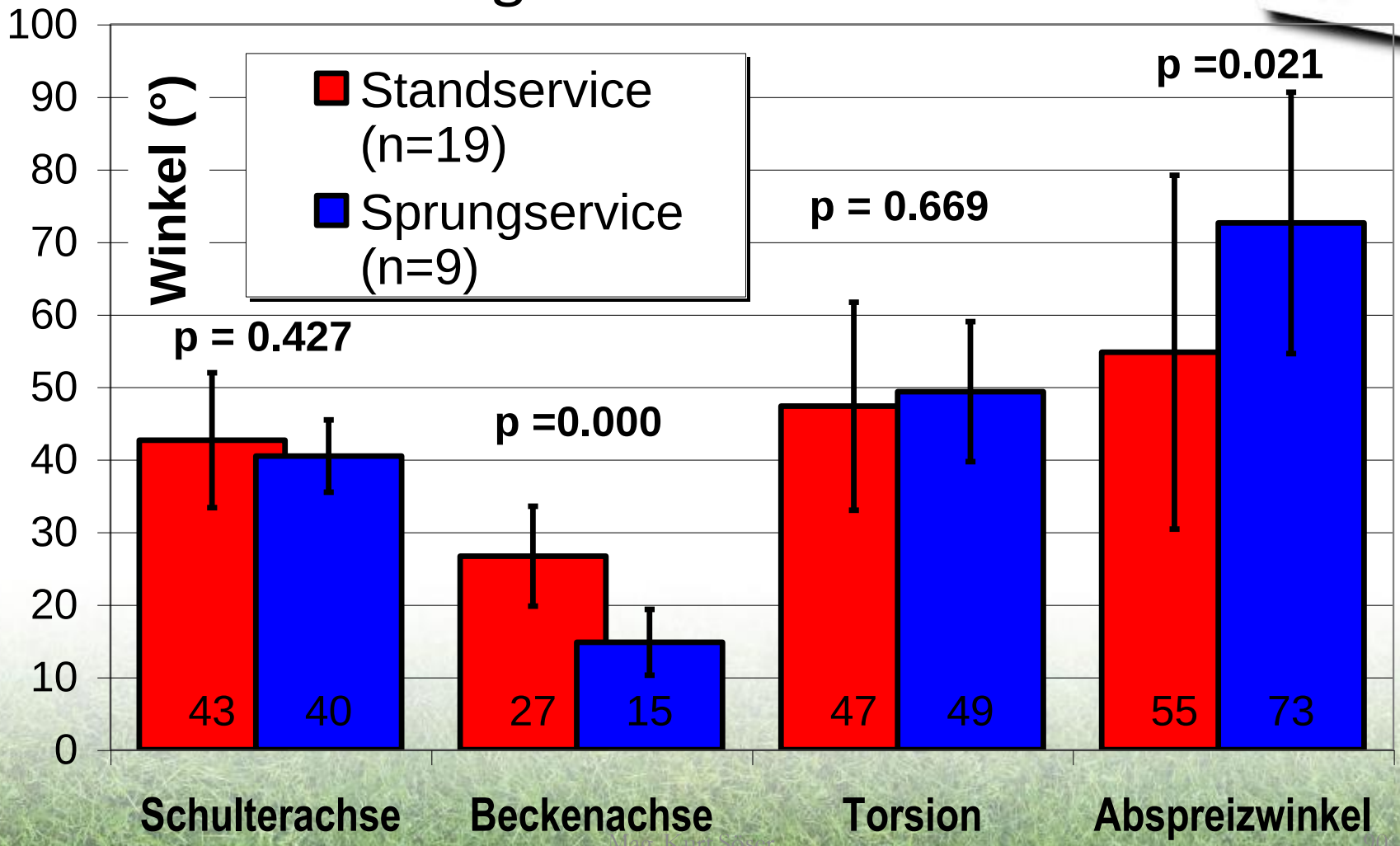
(2) Ergebnisse - Sprungservice

- Winkel – Vergleich



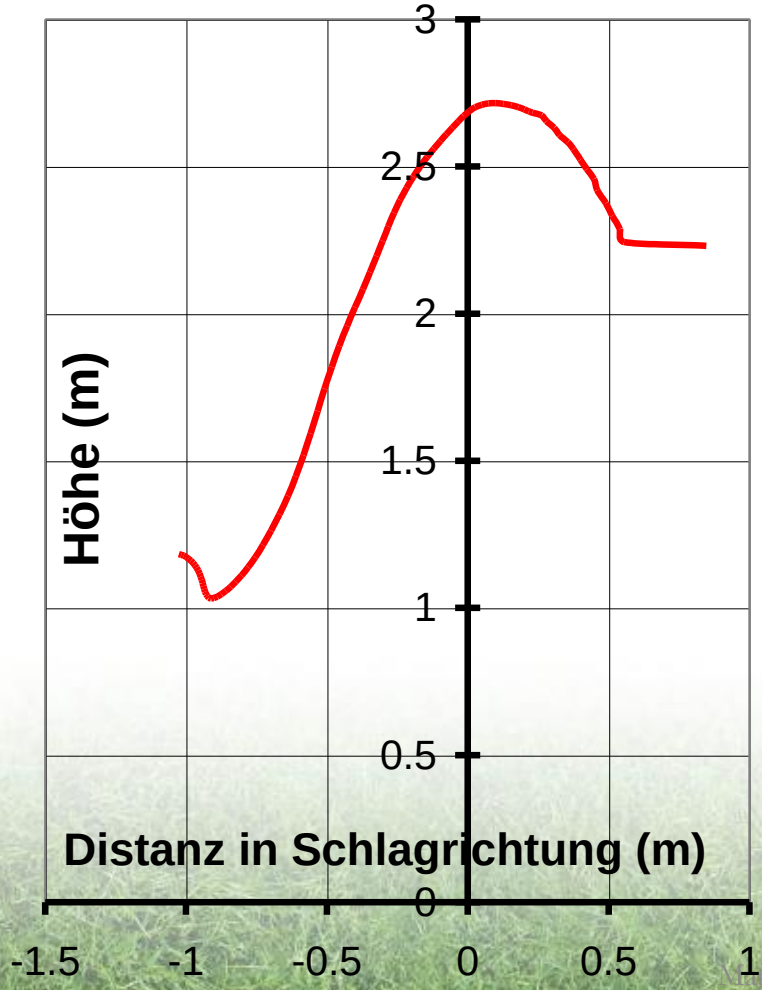
(2) Ergebnisse – Stand/Sprungservice

- Winkel – Vergleich



(3) Ergebnisse – Standservice

- Flugbahn Ball

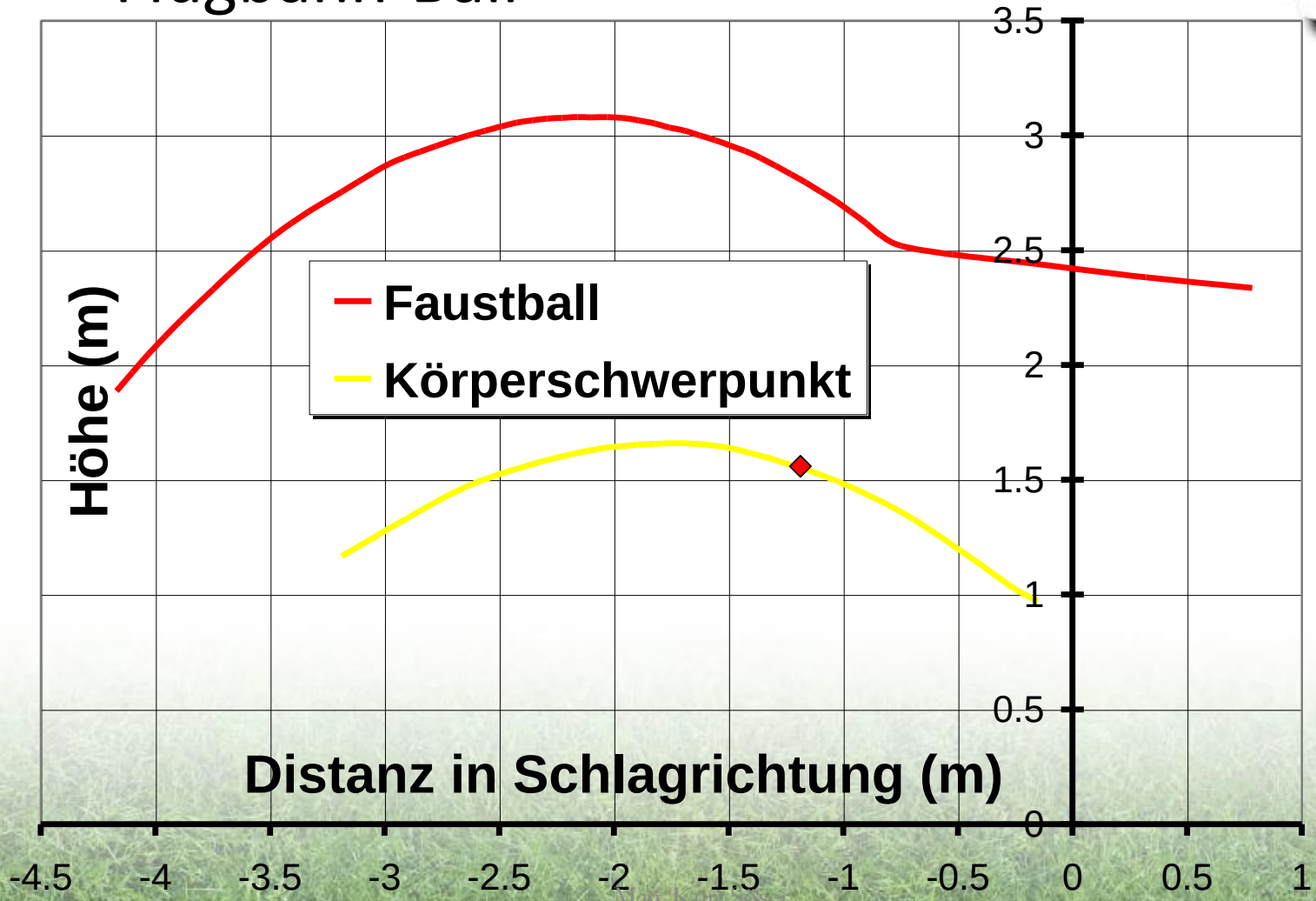


- Ballwurf: ~ 50-100cm über Reichhöhe



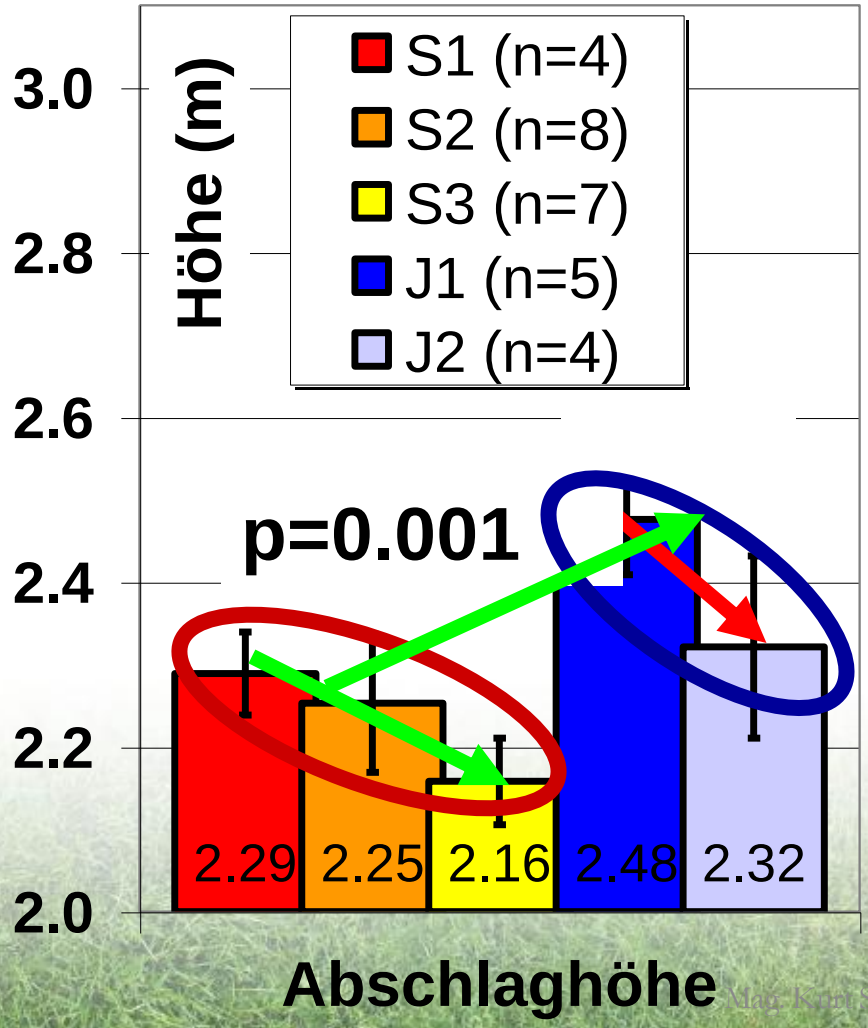
(3) Ergebnisse – Standservice

- Flugbahn Ball



(3) Ergebnisse – Standservice

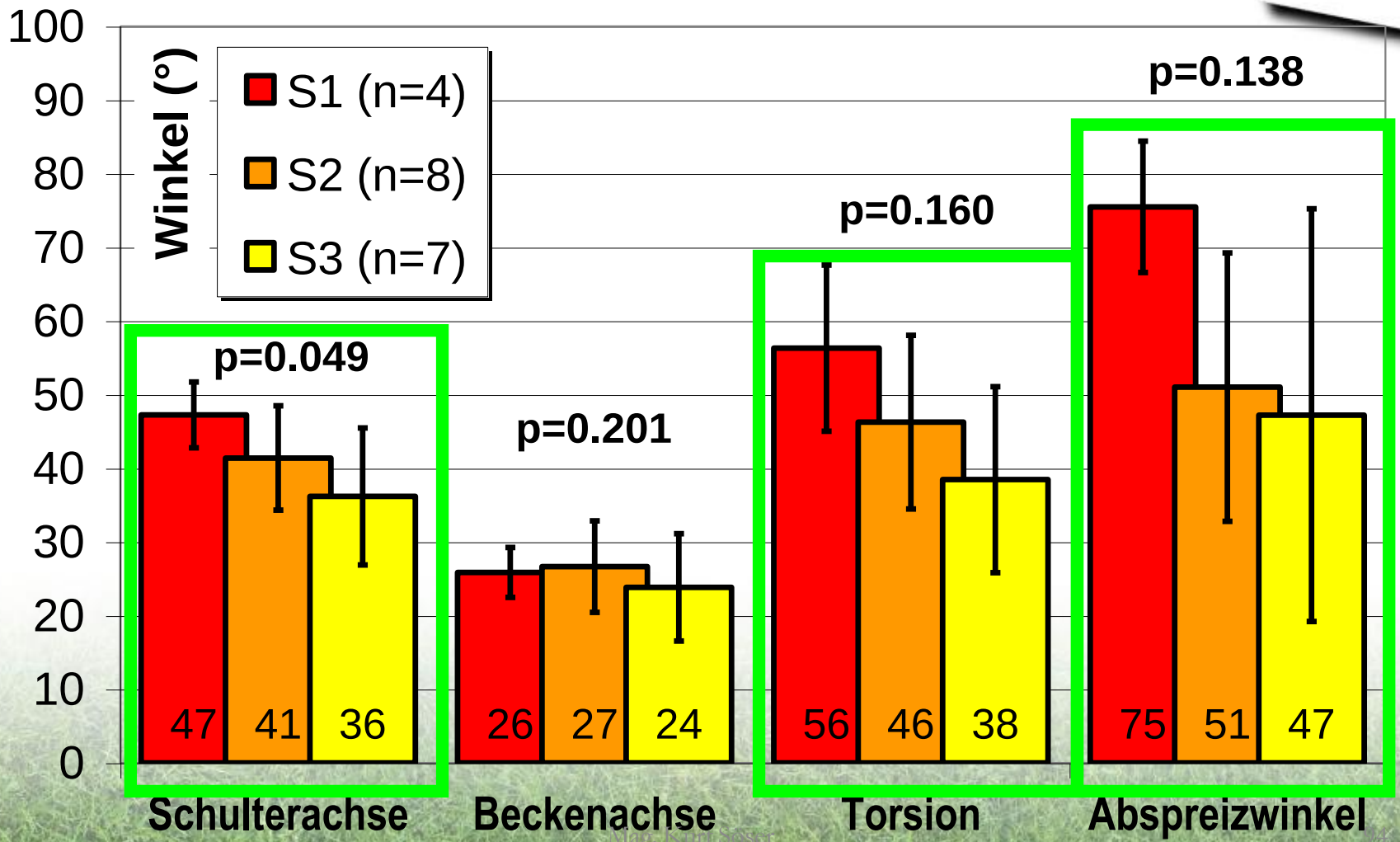
- Ballabschlaghöhe





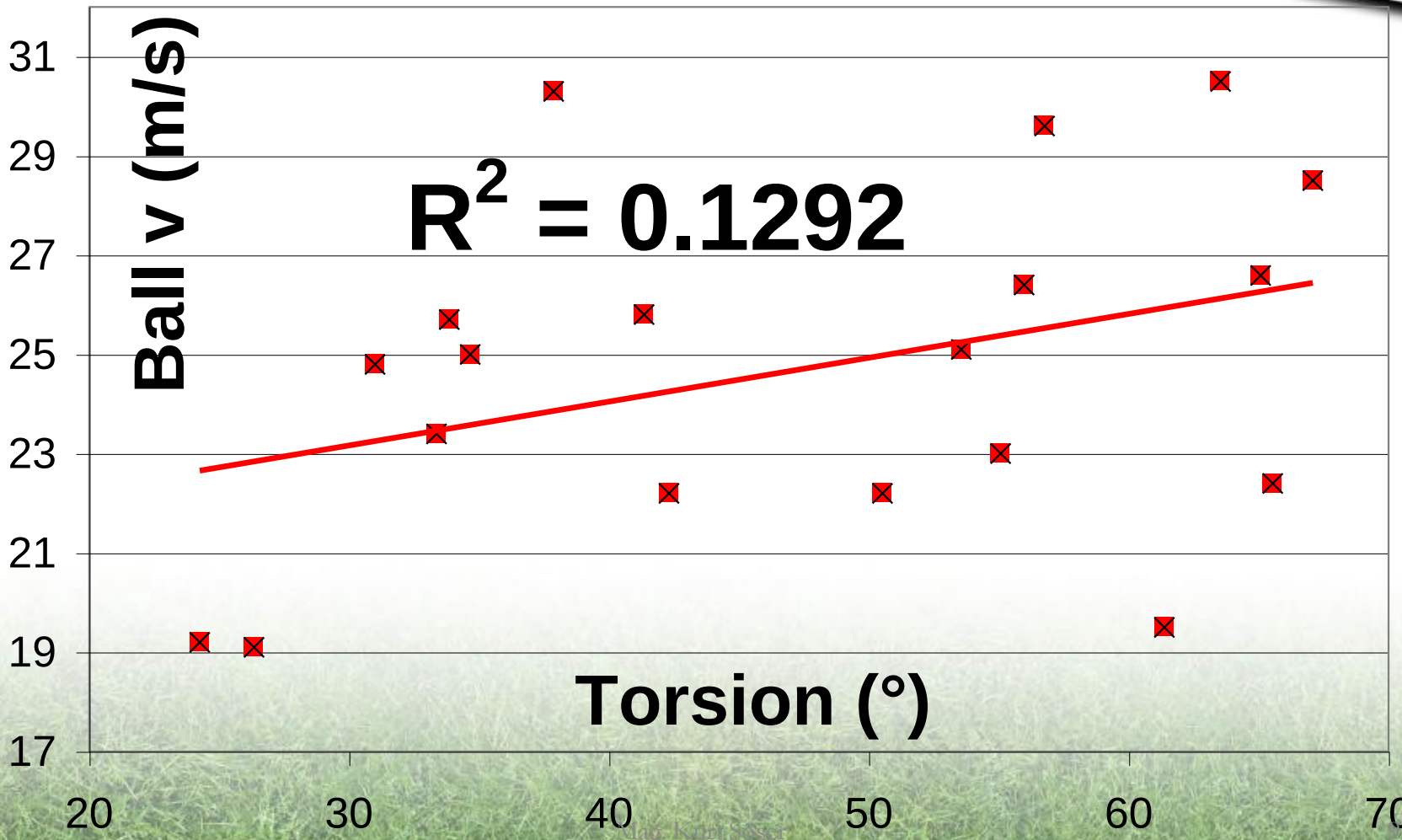
(4) Ergebnisse – Standservice

- Winkel – Vergleich



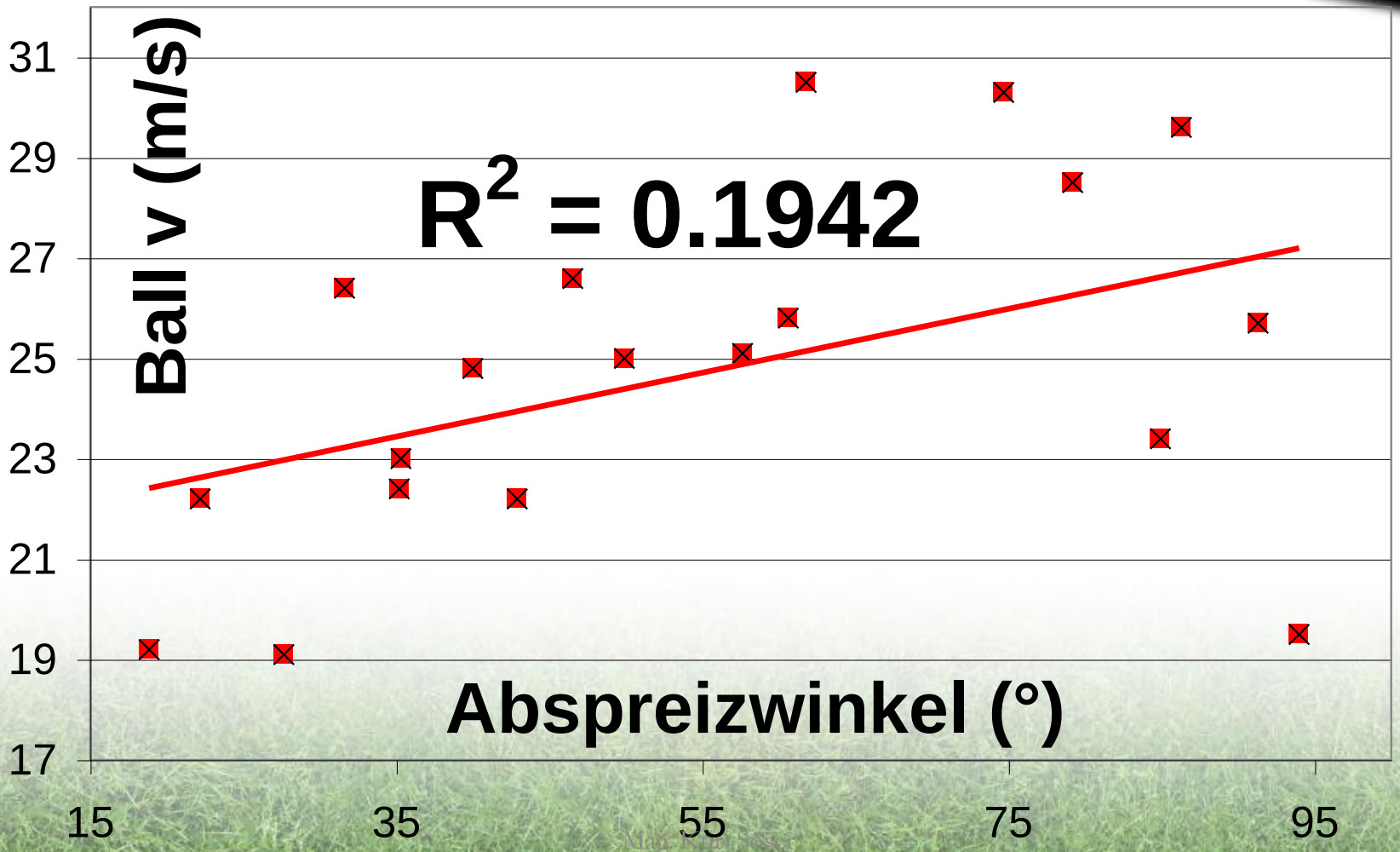
(4) Ergebnisse – Standservice

- Korrelation Torsion-Ballgeschwindigkeit



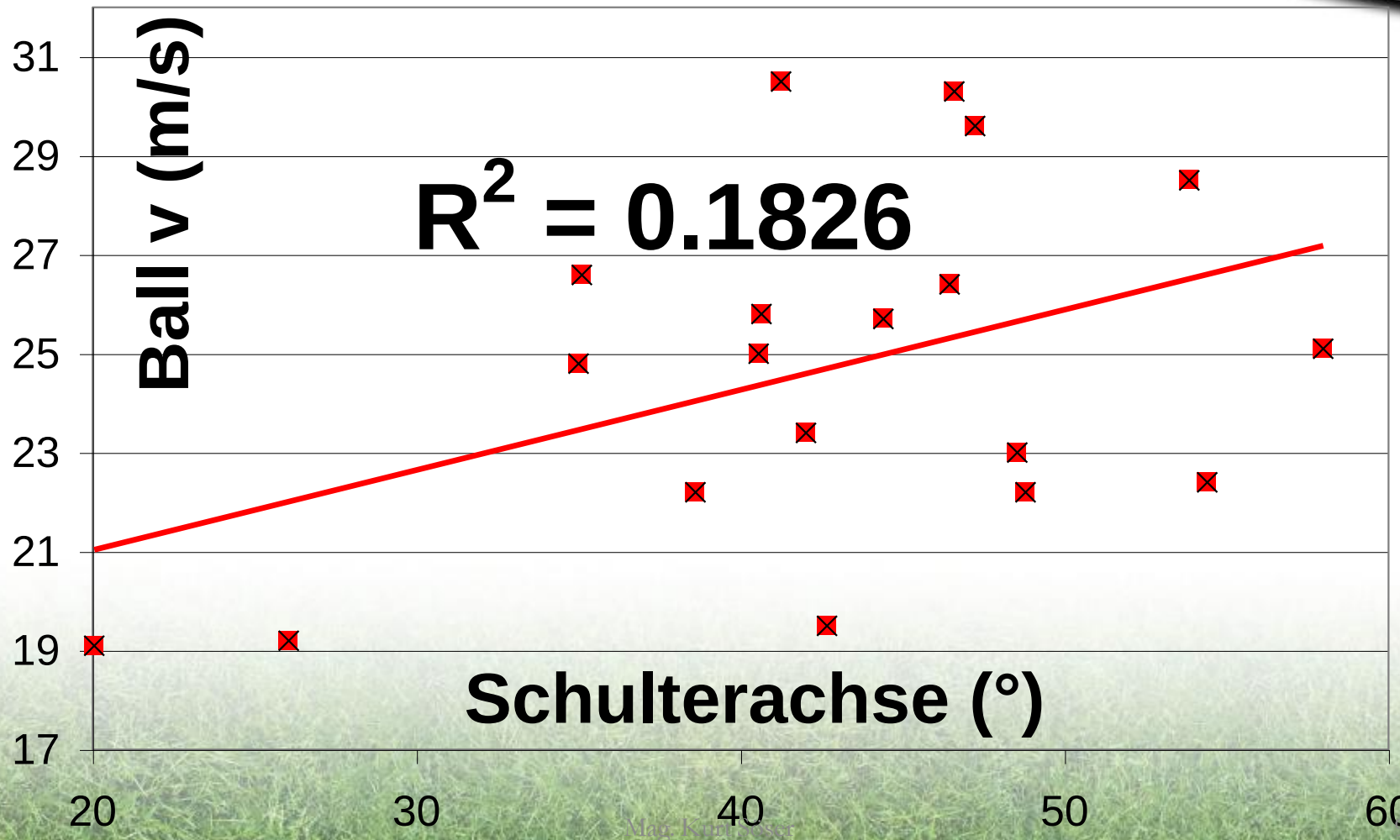
(4) Ergebnisse – Standservice

- Korrelation Abspreizwinkel-Ballgeschw.



(4) Ergebnisse – Standservice

- Korrelation Schulterachse-Ballgeschw.



(4) Ergebnisse – Sprungservice

- Korrelation Abspreizwinkel-Ballgeschw.

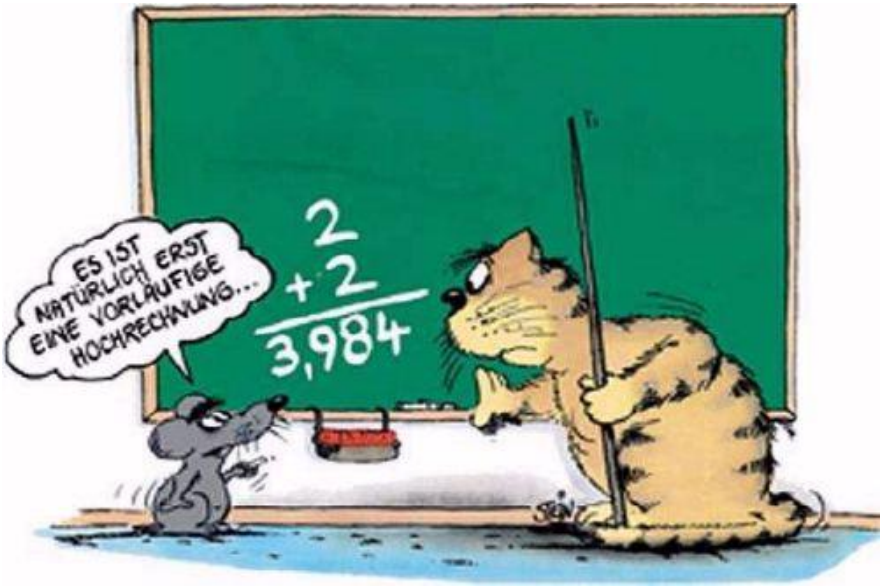


(4) Ergebnisse – Sprungservice

- Korrelation Torsion-Ballgeschwindigkeit
  - $R^2 = 0.0504$
- Korrelation Schulterachse-Ballgeschw.
  - $R^2 = 0,1942$



Zahlen - Zahlen - Zahlen



Zusammenfassung

- Höhere Ball- und Körperteilgeschwindigkeiten bei Spielern höheren Niveaus (hochsignifikant)

- Parameter „Schulterachse“, „Torsion“ und „Abspreizwinkel“ besser bei Spielern höheren Niveaus (nicht signifikant)

Zusammenfassung

- Höhere Ballgeschwindigkeiten **nicht** durch Parameter „Abspreizwinkel“ (= Schwungbeineinsatz) „Torsion“ und „Schulterachse“ erklärbar. (Standservice)

- *Diskrete* Werte **nicht** entscheidend

  ⇨ Winkelverläufe

  – Winkelgeschwindigkeiten

  – Winkelbeschleunigungen

Zusammenfassung

- Praxis:
  - Genaue 3D-Daten und Angaben für Lehr- und Lernprozess
  - Leistungsmaximierung (Ballgeschwindigkeit)
    - Erhöhung der Körperteilgeschwindigkeiten
    - Erhöhung der effektiven Schlagmasse
  - Verletzungsprophylaxe
    - Training der Rumpfmuskulatur
      (hohe Torsionswinkel (>60°) bei max. Beschleunigung)

Zusammenfassung

- Praxis:
  - Serienbilder
    - Bilder und Animationen von verschiedenen Blickrichtungen
  - Physikalische Erklärungen
    - Ballhärte
    - Flugbahnen

Ausblick

- Erweiterung auf Rückschlag (ev. Zuspiel)
- Myografische Untersuchungen (Kinematik allein nicht ausreichend) - Muskelaktivitäten
- Höhere zeitliche Auflösung (> 200 Hz)
  - Verläufe
- Theoretische und Praktische Betrachtung
  - Ball-Boden-Kontakt, Ball-Faust-Kontakt, Ballflugbahn,…
- Vergleiche mit anderen Wurfsportarten



Herzlichen Dank