

Gelenkbeschwerden und -belastungen im Sport
Konzeptionelle Analyse am Beispiel des Bergwanderns

Hermann Schwameder

Übersicht - Gliederung

- Bedeutung mechanischer Reize für die Entwicklung biologischer Strukturen
- Beschwerden und Belastungen
- Exemplarische Analyse beim Wandern und Bergwandern
 - Begründung
 - Problemstellungen
 - Methoden
 - Ergebnisse
 - Schlussfolgerungen

Prof. Hermann Schwameder
2

Wirkung mechanischer Reize

- Mechanische Reize sind essenziell für die Entwicklung biologischer Strukturen



Prof. Hermann Schwameder
3

Wirkung mechanischer Reize

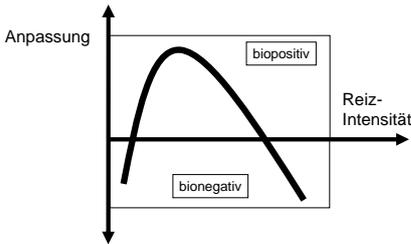
- Mechanische Reize sind essenziell für die Entwicklung biologischer Strukturen
 - Prinzip der funktionellen Anpassung (Roux 1895)
 - Veränderung äußerer (mechanischer) Bedingungen: systemerhaltende Anpassungen
 - Gesetz von Wolff (1870)
 - Beschreibt die funktionelle Adaptation des Knochens



Prof. Hermann Schwameder
4

Wirkung mechanischer Reize

- Anpassungen von Systemen und Strukturen auf gesetzte Reize



Prof. Hermann Schwameder
5

Wirkung mechanischer Reize

- Anpassungen bei richtig gesetzten Reizen
 - Hypertrophie der Muskulatur
 - Knochen
 - Wohl et al. 2000
 - Brüggemann et al. 1999
 - Heinonen et al. 1996
 - Grimston et al. 1993
 - Knorpel
 - Zhao et al. 2003
 - Eckstein et al. 2002
 - Brüggemann et al. 1999
 - Bänder und Sehnen
 - Kasashima et al. 2002
 - Rosage et al. 2002
 - Kjaer et al. 2000



Prof. Hermann Schwameder
6

Wirkung mechanischer Reize

Anpassungen bei nicht oder falsch gesetzten Reizen

Prof. Hermann Schwameder

7

Wirkung mechanischer Reize

- Anpassungen bei nicht oder falsch gesetzten Reizen
 - Atrophie von Strukturen
 - Verletzungen
 - Schäden von Strukturen
 - Beschwerden
 - Sekundärprobleme

Prof. Hermann Schwameder

8

Sportartspezifische Beschwerden

- Läufer/Jogger
 - Retropatellarschmerz
 - Periostitis (shin-splints)
- Springer
 - Patellasitzensyndrom
- Gerätturner
 - Fußgelenke
- Schwimmer
 - Schulter
 - Knie
 - HWS

Prof. Hermann Schwameder

9

Zusammenhang Belastung - Beschwerden

- Sportartspezifische Belastungen werden als Ursache für Beschwerden diskutiert
 - Höhe der Kräfteinsätze
 - Anzahl der Kräfteinsätze
 - Kraftanstieg
 - Extreme Gelenksstellungen
 - Vibrationen

Prof. Hermann Schwameder

10

Beschwerden beim Wandern und Bergwandern

- Beschwerden beim Wandern und Bergwandern
 - Schmerzen und Beschwerden am aktiven und passiven Bewegungsapparat
 - Pfrörringer/Ullmann 1989
 - ÖAV 1990
 - Blake & Ferguson 1993
 - De Loes 1995

Prof. Hermann Schwameder

11

Beschwerden beim Wandern und Bergwandern

- Vermutung für Schmerzen und Beschwerden
 - Hohe Belastungen in den Gelenken in verschiedenen Situationen
 - Blake & Ferguson 1993
 - Kuster et al. 1994
 - Kuster et al. 1995

Prof. Hermann Schwameder

12

13 Prof. Hermann Schwameder

Positive Aspekte von Wandern und Bergwandern

- Life-time Sportart, bis ins hohe Alter praktikierbar
- Günstige physiologische Anpassungen, Krankheitsprophylaxe
- Günstige Anpassungen am aktiven und passiven Bewegungsapparat
- Hoher Fitnessgewinn bei relativ geringem Risiko
- Naturerlebnis
- Soziale Kontaktqualitäten (Gespräche, gemeinsames Erlebnis)
- Finanziell günstig
-



14 Prof. Hermann Schwameder

Problemstellung - Forschungsdefizite

- Forschungsdefizite
 - Beschwerden beim Bergwandern hinsichtlich
 - Häufigkeit und Stärke
 - Situation
 - Lokalisation
 - Zusammenhang zwischen Beschwerdecharakteristik und Belastungssituation unklar

15 Prof. Hermann Schwameder

Problemstellung - Ziele

- Untersuchungsziele
 - Reduktion der Forschungsdefizite
 - Analyse der Beschwerdecharakteristik
 - Analyse situationsabhängiger Belastungscharakteristika
 - Abklärung des Zusammenhangs
 - Potenzielle Steuerungsgrößen hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Gelenkbelastungen untersuchen

16 Prof. Hermann Schwameder

Analyse der Beschwerdecharakteristik - Befragung

Fragebogengestütztes Interview

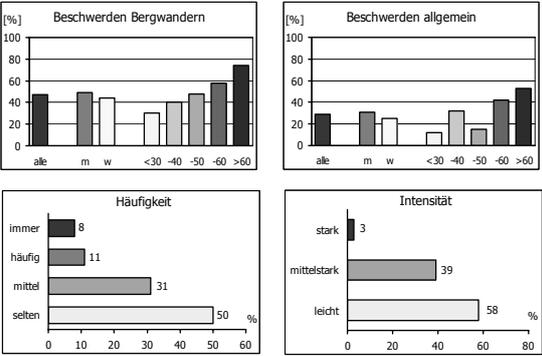
440 Bergwanderer (64% männl., 36% weibl.)

- Meereshöhe 1540 m
- Bergerfahrung 23 Jahre
- Tourenhäufigkeit 30/Jahr
- Tourendauer 5 h (Auf- und Abstieg)

Auswertung geschlechts- und altersspezifisch

17 Prof. Hermann Schwameder

Ergebnisse Befragung – Beschwerden am BWA



Beschwerden Bergwandern

Gruppe	alle	m	w	<30	-40	-50	-60	>60
alle	45	50	45	30	40	45	55	75

Beschwerden allgemein

Gruppe	alle	m	w	<30	-40	-50	-60	>60
alle	25	30	25	15	25	30	40	55

Häufigkeit

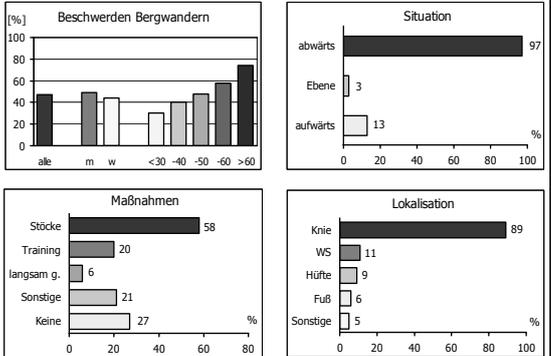
Kategorie	Werte
immer	8
häufig	11
mittel	31
selten	50

Intensität

Kategorie	Werte
stark	3
mittelstark	39
leicht	58

18 Prof. Hermann Schwameder

Ergebnisse Befragung – Beschwerden am BWA



Beschwerden Bergwandern

Gruppe	alle	m	w	<30	-40	-50	-60	>60
alle	45	50	45	30	40	45	55	75

Situation

Situation	Werte
abwärts	97
Ebene	3
aufwärts	13

Maßnahmen

Maßnahme	Werte
Stöcke	58
Training	20
langsam g.	6
Sonstige	21
Keine	27

Lokalisation

Lokalisation	Werte
Knie	89
WS	11
Hüfte	9
Fuß	6
Sonstige	5

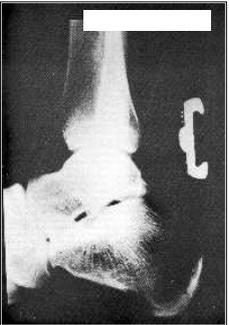
Zusammenfassung Befragung

- Beschwerdecharakteristik weitgehend geklärt
 - Relativ hohe Beschwerdehäufigkeit
 - Relativ hohe Beschwerdeintensität
 - Häufigste Beschwerdesituation: Abwärtsgehen
 - Häufigste Beschwerdelokalisation: Kniegelenk
- Belastungsanalyse

Prof. Hermann Schwameder
19

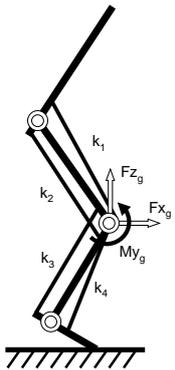
Methoden der Belastungsanalyse

- Bestimmung von Kräften und Momenten im menschlichen Körper
 - Messen
 - Berechnen
- Menschlichen Körper kann man als Mehrkörpersystem auffassen



Prof. Hermann Schwameder
20

Belastungsanalysen – Vorwärtsdynamik



F_{ki}

Kraft
↓
Bewegung

F_{xg} F_{zg} M_g

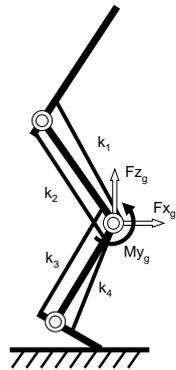
Bewegunggleichungen
 $F_{x_{ki}} = m_s \ddot{x}_s$
 $F_{z_{ki}} = m_s \ddot{y}_s$
 $My_{ki} = \Theta_s \ddot{\alpha}_s$

Bewegung
 x_s y_s

↑
Bewegung

Prof. Hermann Schwameder
21

Belastungsanalyse – Inverse Dynamik



F_{ki}

↑
Bewegung

F_{xg} F_{zg} M_g

Bewegunggleichungen
 $F_{x_{ki}} = m_s \ddot{x}_s$
 $F_{z_{ki}} = m_s \ddot{y}_s$
 $My_{ki} = \Theta_s \ddot{\alpha}_s$

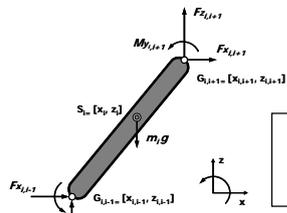
Nettokräfte
 Nettomomente

Bewegung
 x_s y_s

↑
Bewegung

Prof. Hermann Schwameder
22

Freigeschnittenes Segment



Bewegungsgleichungen

Translationen (Kräfte)

$$m_i \ddot{x}_i = F_{x_{i,i+1}} + F_{x_{i,i-1}}$$

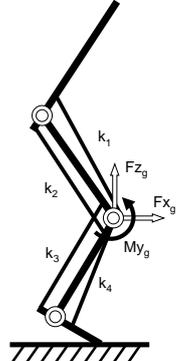
$$m_i \ddot{z}_i = F_{z_{i,i+1}} + F_{z_{i,i-1}} - m_i g$$

Rotationen (Momente)

$$I_{y_i} \ddot{\varphi}_i = M_{y_{i,i+1}} + M_{y_{i,i-1}} - (z_{i,i+1} - z_i) F_{x_{i,i+1}} + (z_i - z_{i,i-1}) F_{x_{i,i-1}} + (x_{i,i+1} - x_i) F_{z_{i,i+1}} - (x_i - x_{i,i-1}) F_{z_{i,i-1}}$$

Prof. Hermann Schwameder
23

Belastungsanalyse – Inverse Dynamik



F_{ki}

↑
Bewegung

F_{xg} F_{zg} M_g

Bewegunggleichungen
 $F_{x_{ki}} = m_s \ddot{x}_s$
 $F_{z_{ki}} = m_s \ddot{y}_s$
 $My_{ki} = \Theta_s \ddot{\alpha}_s$

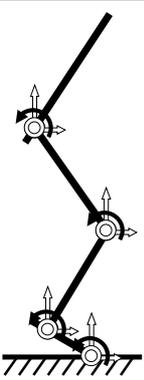
Nettokräfte
 Nettomomente

Bewegung
 x_s y_s

↑
Bewegung

Prof. Hermann Schwameder
24

Belastungsanalyse – Inverse Dynamik (Parameter)

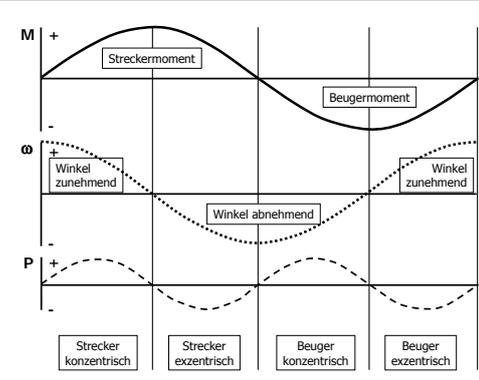


F_{x_g} F_{z_g}	M_g	Nettokräfte Nettomomente
$P_g = M_g \omega_g$		Gelenk- leistung
$W_g = \int P_g(t) dt$		Gelenk- arbeit

Prof. Hermann Schwameder

25

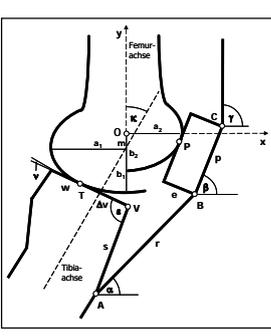
Belastungsanalysen - Leistungsbestimmung



Prof. Hermann Schwameder

26

Kniemodell Plakmos



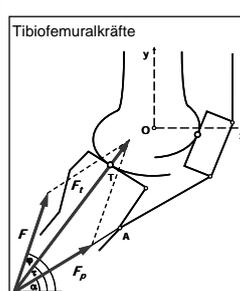
- Grundmodell von Yamaguchi/Zajac (1989)
- Erweiterung auf 120° Beugewinkel
- Geometrie/Kinematik: Funktion des Kniewinkels
- Online-Berechnungen möglich

Prof. Hermann Schwameder

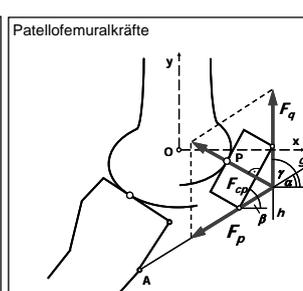
27

Kniemodell Plakmos - Kniegelenkskräfte

Tibiofemoralkräfte



Patellofemoralkräfte



$$\begin{pmatrix} F_t \\ F_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \tau & -\cos \alpha \\ \sin \tau & -\sin \alpha \end{pmatrix}^{-1} F \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{pmatrix}$$

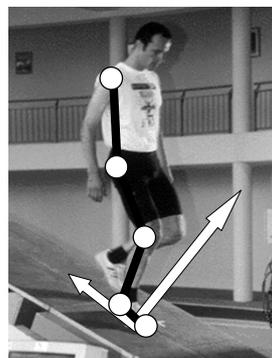
$$\begin{pmatrix} F_{cp} \\ F_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos (\pi / 2 + \beta) & -\cos \gamma \\ \sin (\pi / 2 + \beta) & -\sin \gamma \end{pmatrix}^{-1} (-F_p) \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}$$

Prof. Hermann Schwameder

28

Eingangsdaten für Modellierung

- Eingangsdaten für Inverse Dynamik und Kniemodell
 - Bodenreaktionskräfte (F_x F_z)
 - Kraftangriffspunkt (a_x)
 - Kinematik anatomischer Kennpunkte (Video)



Prof. Hermann Schwameder

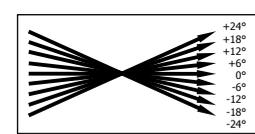
29

Methodik – Neigungen

Bestimmung der Belastung in den Gelenken der unteren Extremität in Abhängigkeit der Neigung



Rampe (5 x 1.2 m)
9 Neigungen (-24° bis 24°)
Kraftmessplatte
2D Videoaufnahme



Prof. Hermann Schwameder

30

Methodik – Neigungen

Bestimmung der Belastung in den Gelenken der unteren Extremität in Abhängigkeit der Neigung

Datenaufnahme

- 22 Studenten
- 1 Versuch pro Neigung
- Konstante Schrittlänge je Proband
- Konstante Schrittfrequenz
- Konstante Gehgeschwindigkeit



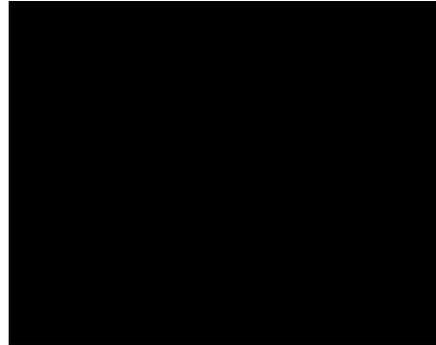
Datenauswertung

- Inverse Dynamik (F_g , M_g , P_g , W_g)
- Plakmos (Kniegelenkskräfte)

Prof. Hermann Schwameder

31

Video – Gehuntersuchung Rampe

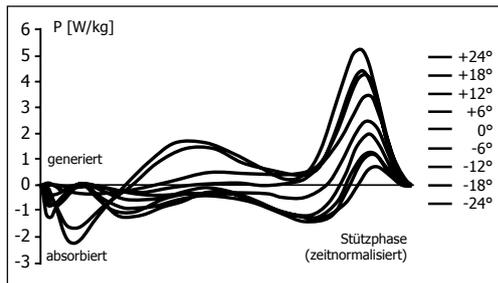


Prof. Hermann Schwameder

32

Ergebnisse – Neigungen

Leistung im Sprunggelenk

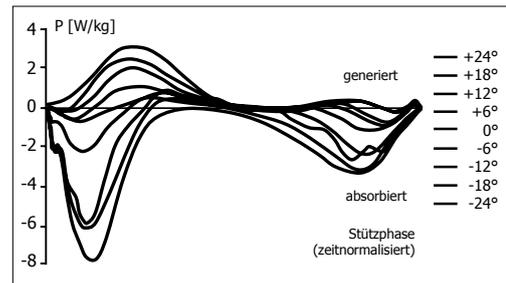


Prof. Hermann Schwameder

33

Ergebnisse – Neigungen

Leistung im Kniegelenk

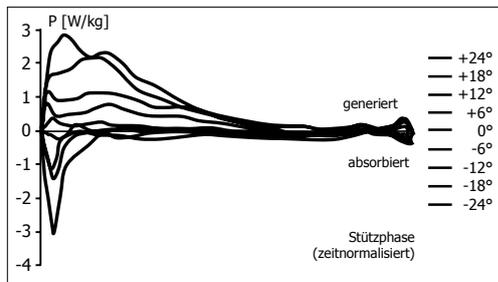


Prof. Hermann Schwameder

34

Ergebnisse – Neigungen

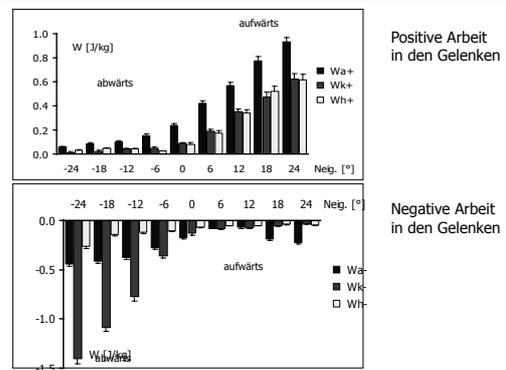
Leistung im Hüftgelenk



Prof. Hermann Schwameder

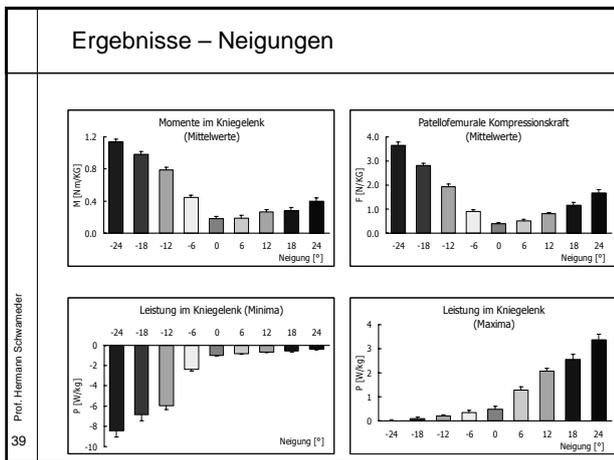
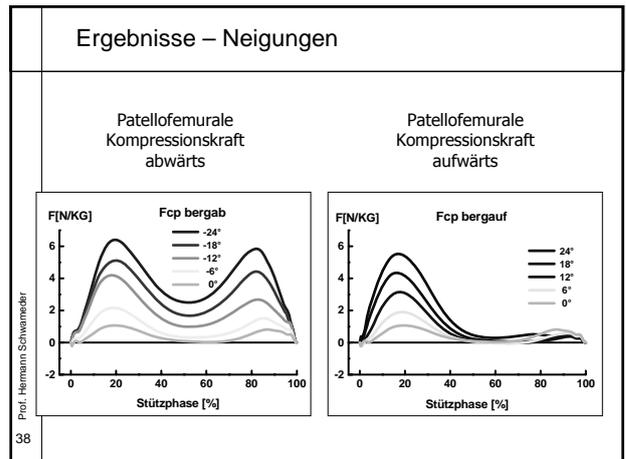
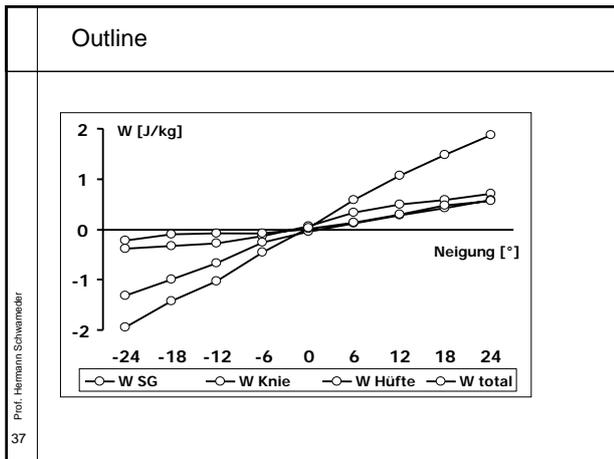
35

Ergebnisse – Neigungen

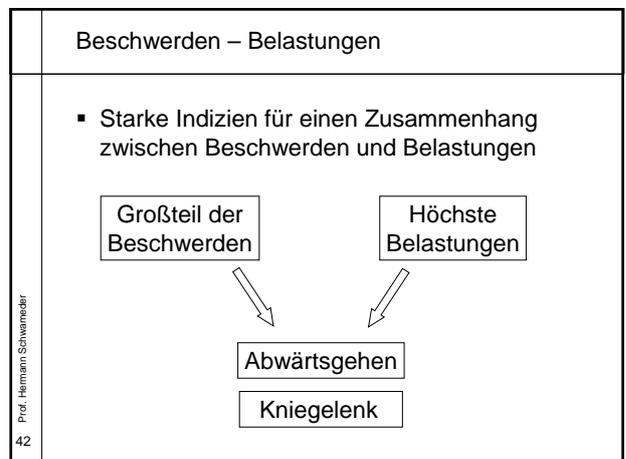
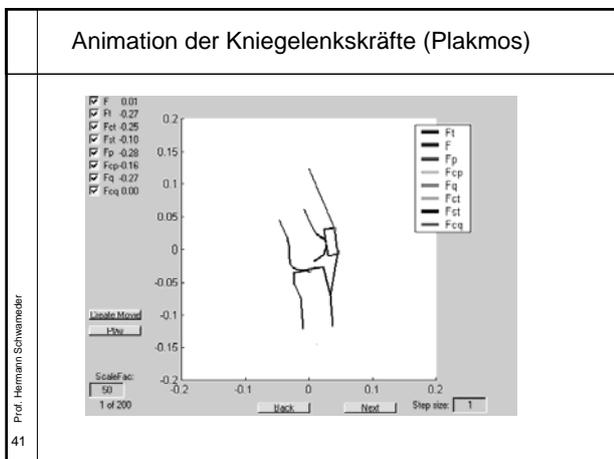


Prof. Hermann Schwameder

36

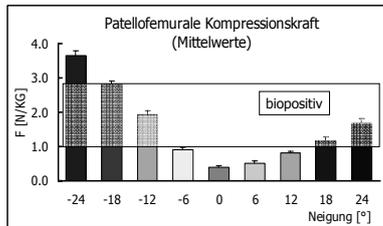


- ### Ergebnisse – Neigungen
- In allen untersuchten Gelenken nehmen die Belastungen mit der Neigung (Steigung und Gefälle) sehr stark zu
 - Kniegelenkskräfte nehmen mit der Neigung (Steigung und Gefälle) sehr stark zu
 - Überproportionale Zunahme der Belastung mit dem Gefälle im Kniegelenk
 - Abwärtsgehen >> Aufwärtsgehen
- Prof. Hermann Schwameder
- 40



Beschwerden – Belastungen

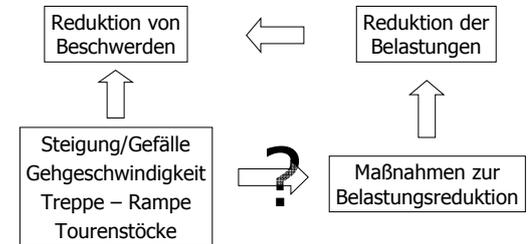
- Spekulation
In manchen Situationen:
Verlassen des biopositiv wirkenden Bereichs



Prof. Hermann Schwameder
43

Maßnahmen zur Beschwerdereduktion

- Starke Indizien für einen Zusammenhang zwischen Beschwerden und Belastungen



Prof. Hermann Schwameder
44

Untersuchungen unterschiedlicher Bedingungen

Bestimmung der Belastung
in den Gelenken der
unteren Extremität in
Abhängigkeit

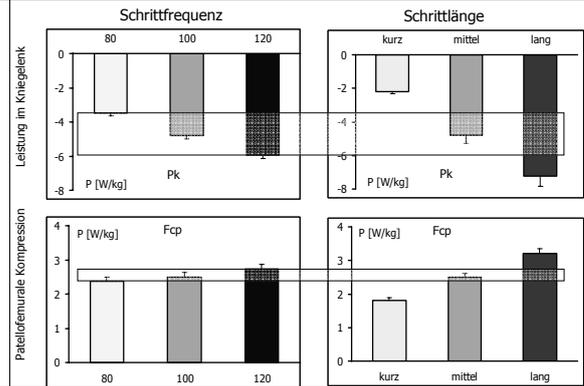
Gehgeschwindigkeit
Treppe – Rampe
Tourenstöcke

Datenauswertung
Inverse Dynamik (F_g , M_g , P_g , W_g)
Plakmos (Kniegelenkskräfte)



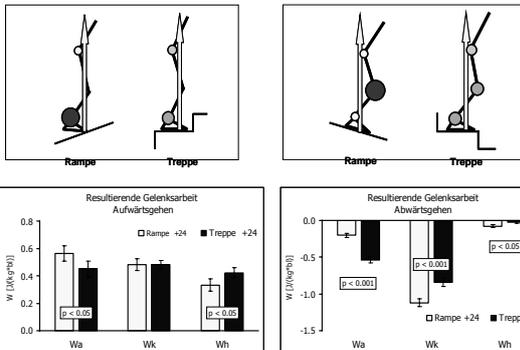
Prof. Hermann Schwameder
45

Ergebnisse – Schrittlänge-Schrittfrequenz



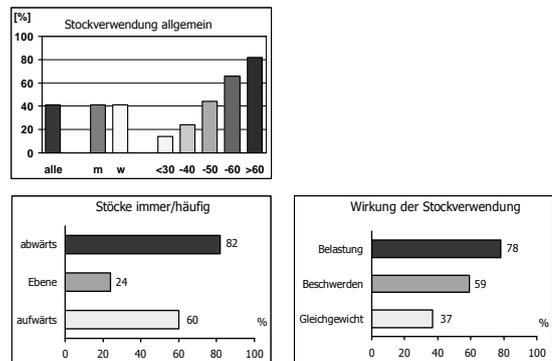
Prof. Hermann Schwameder
46

Ergebnisse – Rampe-Treppe



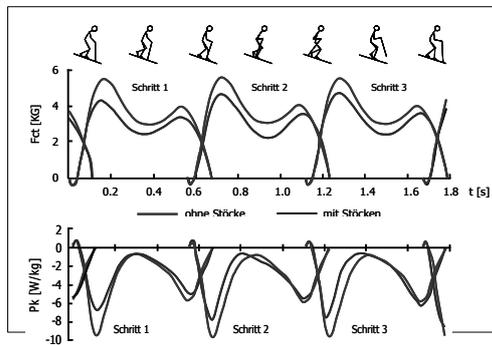
Prof. Hermann Schwameder
47

Ergebnisse Befragung - Stockverwendung



Prof. Hermann Schwameder
48

Ergebnisse - Tourenstöcke



Prof. Hermann Schwameder
49

Schlussfolgerungen

- Effektiv zur Reduktion von Belastungen
 - Verringerung des Gefälles/der Steigung +++
 - Verringerung der Schrittlänge +++
 - Verringerung der Schrittfrequenz ++
 - Treppen statt schiefe Ebene +
 - Tourenstöcke ++

Prof. Hermann Schwameder
50

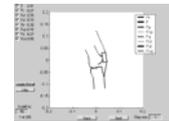
Schlussfolgerungen

- Untersuchungsergebnisse
 - Gewisse Beschwerden am Bewegungsapparat durch hohe Belastungen hervorgerufen
- Effektive Belastungsreduktionen durch einfache Maßnahmen möglich
- Maßnahmen gezielt aber auch für optimale Reizstimulation einsetzbar

Prof. Hermann Schwameder
51



Herzlichen Dank
für die Aufmerksamkeit



Prof. Hermann Schwameder
52