

Technische Validierung eines tragbaren Ganganalysesystems basierend auf Inertialsensoren und Kraftmesssohlen

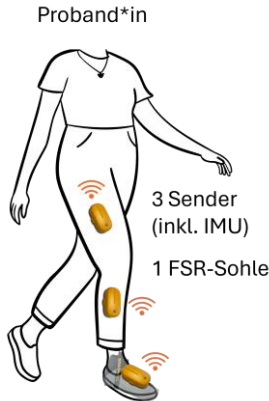


Abb. 1: Messaufbau für die Machbarkeitsanalyse

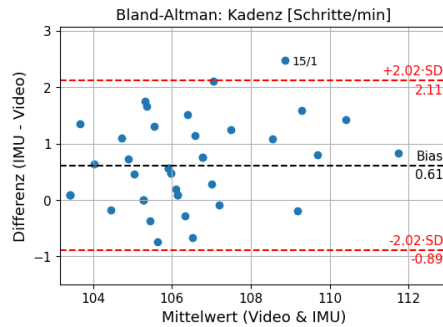


Abb. 2: Bland-Altman-Diagramm zur Kadenz (IMU/FSR-System vs. 2D-Video).

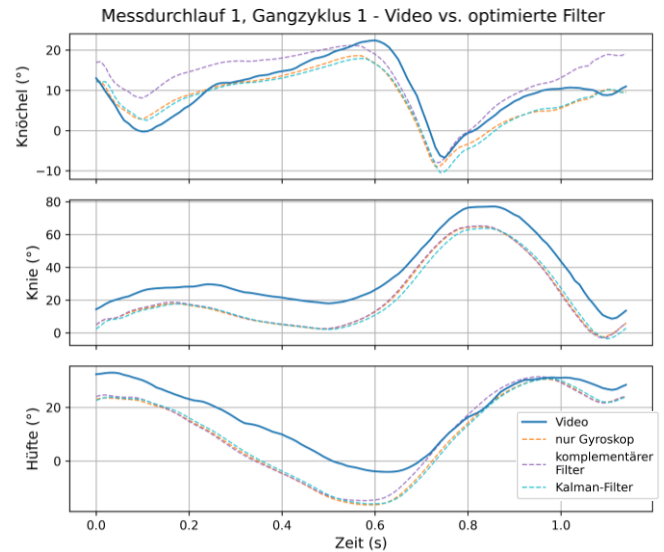


Abb. 3: Vergleich sagittaler Gelenkwinkelverläufe (rechts) aus IMU-Daten (Filterverfahren) und 2D-Videoanalyse.

Kennwert	kein Filter (nur Gyroskop)	Komplementärer Filter ($\alpha = 0.995$)	Kalman-Filter ($R = 0.2$, $Q_\theta = 5 \cdot 10^{-5}$, $Q_{\dot{\theta}_b} = 1 \cdot 10^{-5}$)
RMSE (°)	11.55	9.21	11.12
MAE (°)	10.41	7.02	10.17
Zentrierter RMSE (°)	3.84	4.71	3.23
Pearson-r (-)	0.949	0.906	0.955
Driftrate (°/min)	0.8260	0.0177	0.0065

Tab. 1: Fehler- und Gütemaße der berechneten sagittalen Gelenkwinkelverläufe für unterschiedliche Filterverfahren.

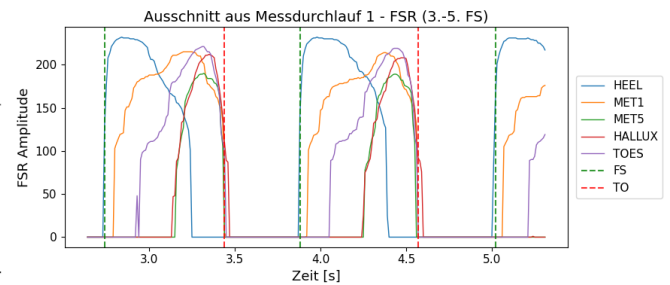


Abb. 4: Zeitverlauf exemplarischer FSR-Signale mit detektierten Gangereignissen (Foot Strike - FS, Toe Off - TO).

Problemstellung

Die objektive Erfassung von Gangparametern ist für die Beurteilung von Mobilität und Rehabilitation essenziell. Menschen mit Beinamputation weisen häufig Gangasymmetrien auf, die trotz erfolgreicher Gangtrainings im Alltag erneut auftreten können. Da klinische Ganganalysen meist nur Momentaufnahmen unter Laborbedingungen liefern, bleibt das tatsächliche Gangverhalten im Alltag häufig unbeurteilt. Für ein nachhaltiges Gangtraining besteht daher Bedarf an einer alltagsnahen Ganganalyse mit Echtzeit-Feedback zur Gangqualität.

Lösungskonzept

Ein bestehendes sensorisches Feedback-System wurde um eine Ganganalysefunktion erweitert. Das System kombiniert Inertialsensoren (IMUs) und kraftmessende Einlegesohlen (FSR-Sensoren).

Zeitliche Gangparameter (Gangphasendauer, Kadenz) wurden mittels aus FSR-Daten detektierten Gangereignissen berechnet, während die sagittalen Gelenkwinkelverläufe aus den IMU-Daten

bestimmt wurden. Hierfür wurden zwei filterbasierte Ansätze zur Sensordatenfusion implementiert, optimiert und verglichen: ein komplementärer Filter und ein Kalman-Filter. Wichtig sind eine gute Langzeitstabilität und Formtreue.

Zur Überprüfung der technischen Machbarkeit wurden mehrere Gangzyklen mit dem Sensorsystem am rechten Bein sowie mit einer markerbasierten 2D-Videoanalyse als Referenz aufgenommen und mittels Fehler- und Gütemaßen und Bland-Altman-Analysen bewertet.

Ergebnisse

Die erfassten zeitlichen Gangparameter zeigten eine hohe Übereinstimmung mit der Referenzanalyse, insbesondere für Gangphasendauer und Kadenz. Die Bland-Altman-Analysen bestätigten eine gute Übereinstimmung ohne ausgeprägte systematische Abweichungen.

Für die sagittalen Gelenkwinkel traten methodenabhängige Unterschiede auf. Mit optimierten Filterparametern erzielten sowohl der komplementäre Filter als auch

der Kalman-Filter eine gute Übereinstimmung mit der Referenz. Wobei systematisch Offsets (v.a. Hüfte, Knie) auftraten, die vermutlich auf die Markerplatzierung der 2D-Analyse zurückzuführen sind.

Insgesamt bestätigt die Arbeit die technische Machbarkeit des Systems als Grundlage für eine alltagsnahe Ganganalyse bei Prothesenträger*innen. Verbesserungsbedarf zeigte sich in der Datenübertragung, da Lücken in den Sensordaten auftraten.

Isabella Reiher

Advisor HSLU: Prof. Dr. Carsten Haack

Experte: Dr. Sven Ebert

Betreuerin FHTW:
MSc Sarah Langer

Kooperationspartner:
Saphenus Medical Technology
Aaron Pitschl

