

Universitätsklinikum Halle (Saale) | Postfach | 06097 Halle (Saale)

h/p/cosmos sports & medical gmbh

Herrn Dr. Björn Zimmermann
Am Sportplatz 8,
83365 Nussdorf-Traunstein

Halle (Saale), 30.11. 2023

Energieaustausch bei Belastungen auf Laufbandergometern

Sehr geehrter Herr Dr. Zimmermann,

anliegend übersende ich Ihnen meine Einschätzung zur Thematik
des Energieaustauschs bei Belastungsuntersuchungen sowie
Trainings- und Therapiebelastungen unter Anwendung von
Laufbandergometern.

Mit freundlichem Gruß



apl. Prof. Dr. phil. René Schwesig

Forschungslaborleiter
MLU Halle-Wittenberg, Medizinische Fakultät
Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Labor für Experimentelle Orthopädie & Sportmedizin
Ernst-Grube-Str. 40
06120 Halle (Saale)

Universitätsklinikum Halle (Saale)
Department für Orthopädie, Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Forschungslaborleiter
apl. Prof. Dr. phil. René Schwesig
Ernst-Grube-Straße 40, 06120 Halle
Tel.: 0345 557-1317, Fax: 0345 557-4899

Universitätsklinikum Halle (Saale)

Department für Orthopädie,
Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Geschäftsführender Direktor:
Prof. Dr. K.-St. Delank

Stellv. geschäftsführender
Direktor:
apl. Prof. Dr. D. Wohlrab

Hausanschrift:
Ernst-Grube-Str. 40
06120 Halle (Saale)

Sekretariat
Telefon: 0345 557-4805
Telefax: 0345 557-4809
douw@uk-halle.de

www.umh.de/douw

Aktenzeichen: RS
Datum: 30.11.2023

Abteilung Unfall- und Wiederher-
stellungschirurgie
Leitung: Prof. Dr. P. Kobbe
Telefon: 0345 557-7071
unfallchirurgie@uk-halle.de

Abteilung operative Orthopädie
Leitung: Prof. Dr. K.-St. Delank
Telefon: 0345 557-4805
orthopaedie@uk-halle.de

Abteilung Endoprothetik
Leitung: apl. Prof. Dr. D. Wohlrab
apl. Prof. Dr. A. Zeh
Telefon: 0345 557-4880
endoprothetik@uk-halle.de

Abteilung Alterstraumatologie
Leitung: Dr. R. Neef
Telefon: 0345 557-7071
alterstraumatologie@uk-halle.de

Labor Experimentelle Orthopädie
& Sportmedizin
Telefon: 0345 557-41317/-4897
rene.schwesig@uk-halle.de

Unsere Einrichtung ist nach DIN ISO 9001 zertifiziert. Weitere Zertifizierungen:



Zertifiziertes
Pankreaskarzinom Zentrum



Zertifiziertes
Darmkrebszentrum



Zertifiziertes
Darmkrebszentrum

Logo der Einrichtung,
sofern vorhanden

Energieaustausch bei Belastungen auf Laufbandergometern

Zwischen Laufband und Läufer besteht ein Austausch von Energie, insbesondere hinsichtlich einer Energieabgabe (v.a. kinetische Energie) an den Läufer. Aus sicherheitsrelevanter und wissenschaftlicher Sicht muss dieser Energietransfer bei der Verwendung von Laufbändern berücksichtigt werden, da hiervon die (Patienten-) Sicherheit abhängig sein. Gleiches gilt bezüglich der Aussagekraft von Laufbanduntersuchungen und Empfehlungen.

Allgemein betrachtet werden Laufbänder in medizinischen Settings vielseitig eingesetzt. U.a. in der Gangtherapie, der Physiotherapie oder in Verbindung mit weiteren Messapparaturen, wie in Stresstests mit EKG und / oder Spirometrie. Dabei zwingen Laufbänder durch die Bewegung des Untergrundes (Laufgurt) dem Probanden eine Bewegung auf. Reagiert der Läufer nicht mit einer angemessenen Geschwindigkeitsanpassung der Geh- oder Laufbewegung, würde er hinten herunterfallen. Im direkten Vergleich der Bewegungsqualität des freien Gehens und dem Gehen auf dem Laufband gibt es viele Gemeinsamkeiten. Es gibt jedoch auch Unterschiede zwischen den Bewegungsformen. So wurden Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede bestimmter Parameter aus den Bereichen Muskelaktivität (EMG), Kinematik (Gelenkwinkel, räumlich-zeitliche Parameter), Kinetik (Bodenreaktionskräfte), Kardiologie (Herzfrequenzaktivität), Stoffwechsel und Spirometrie (Laktat, Atemgase) ermittelt (Parvataneni, et al. 2009; Miller et al. 2019; van Hooren et al. 2020; Semaan et al. 2022;).

Abgabe oder Austausch von Energie zwischen Laufband und Läufer, sowie Läufer und Laufband

Bewegt sich der Läufer mit der exakt gleichen Geschwindigkeit, die vom Laufband vorgegeben wird, ist die rechnerisch durchschnittliche Geschwindigkeit des Massenschwerpunktes (Center of Mass) gleich Null, wie von Winter (1978) beschrieben. Jedoch stellte Winter (1978) zur Spezifizierung die Hypothese auf, dass Läufer in der anfänglichen Standphase kinetische Energie vom Laufband erhalten und umgekehrt beim kräftigen Abstoßen / Abrollen sogar Energie an das Laufband abgeben. Wann und wie Energie vom Laufband abgegeben wird, wird im Folgenden aufgezeigt.

1. Technisch gesehen verhalten sich Laufbänder wie Transportbänder (z. B. Förderbänder, Kofferbänder): sie bewegen Gegenstände von A nach B. Steht ein Patient auf dem Laufband und dieses wird gestartet, wird der Patient nach hinten befördert. Der Massenschwerpunkt (s.o.) wird nach hinten bewegt. Der Patient muss sich bewegen, um nicht zu stürzen. Ebenso wird der Patient nach oben befördert, wenn das Laufband mittels Hubmotor in die Steigung fährt. In beiden Fällen wird kinetische Energie vom Laufband an den Patienten abgegeben.

✓ **Energieübertrag**

2. Obwohl der Energietransfer unter Punkt 1 klar verdeutlicht wird, entspricht das Stehen auf einem Laufband nicht der klassischen Nutzung. Eine Mischform stellt jedoch eine Methodik der Lokomotionstherapie dar, bei der ein Bein auf den seitlichen Trittflächen steht und das zu trainierende Bein auf den sich bewegenden Laufgurt gestellt wird (vom Läufer selbst oder vom Therapeuten), um es passiv nach hinten zu bewegen und somit zu mobilisieren. Ähnlich verhält es sich, wenn

sich der Patient in einem Gurt- oder Hebesystem (Gewichtsentlastung) befindet und beide Beine alternierend durch den Laufgurt durchbewegt werden. Diese Form wird zumeist bei Patienten mit oder ohne eingeschränkter motorischer Kontrolle der Beine (z. B. nach Schlaganfall, Hemiplegie) angewandt. Dem individuellen Bein wird somit Energie übertragen, welche teilweise oder ganz von dem Laufband abgegeben wird.

✓ **Energieübertrag**



3. Der Energietransfer ist zunächst nicht mehr so deutlich, wenn Laufgurt und Läufer durchschnittlich die gleiche Geschwindigkeit aufweisen, sie sich also im *Steady-State* befinden. Dass es jedoch auch hier zu einer Energieabgabe des Laufbandes an den Läufer kommt, wird an den folgenden Beispielen verdeutlicht.

a. *Geschwindigkeits- und Steigungsänderungen während des Laufens*

Gleichsam stellt das oben beschriebene Steady-State eine Sonderform dar. Änderungen der Geschwindigkeit und / oder Steigung sind die Regel im sportlichen Training, der Diagnostik oder der Therapie. Immer wenn Geschwindigkeit oder Steigung verändert werden, wird eine neue Energiemenge übertragen, auf die der Patient sich einstellen muss, um z. B. im schlimmsten Fall nicht hinten herunterzufallen. Deutlich wird dies insbesondere während der Beschleunigung des Laufbandes (Van Caekenberghe et al. 2013). Aus dem Alltag sei an dieser Stelle auf Rampentests oder Stufenbelastungstests, wie z. B. nach Bruce, Naughton oder Gardner verwiesen. Hier verändern sich die Belastungen kontinuierlich (Albouaini et al. 2007) oder die manuelle Veränderung der Belastungsparameter wird durch den Läufer selbst oder den Therapeuten initiiert. Ist die abgegebene Energie des Laufbandes größer als der Läufer tolerieren kann, kann dieser hinten herunterfallen oder wird von einer Sicherheitseinrichtung gehalten.

In speziellen Trainingsmodi werden dem Patienten bei manchen Laufbändern sogar unvorhersehbare Störreize gezielt verabreicht („Perturbation“), welche den Patienten bewusst aus dem Gleichgewicht bringen sollen. Abrupte Geschwindigkeitsänderungen, Kippbewegungen der Lauffläche oder unvorhersehbare medio / laterale Bewegungen können zum Einsatz kommen.

✓ **Energieübertrag**

		
https://www.youtube.com/watch?v=HvC5nmQFba4	https://www.youtube.com/watch?v=JAupqbD2oQw	https://www.youtube.com/watch?v=tVEwgatEMbk

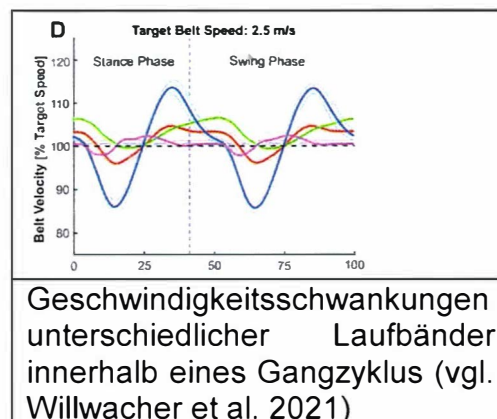
LINK Video Rampentest	LINK Video Spiroergometrie	LINK Video Perturbation
--	---	--

b. Geschwindigkeitsänderungen während des Gangzyklus

Dass die Laufbandgeschwindigkeit während des Gehens oder Laufens ohnehin nicht konstant ist und einer Variation unterliegt, konnten unterschiedliche Studien aufzeigen (Nigg et al. 1995; Savelberg et al 1998; Willwacher et al. 2001). Motorleistung, Steuerungsregelung, Stromversorgung, Gurtspannung- und Schmierung, Laufstil und Läufergewicht spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Beim initialen Bodenkontakt („heel strike“) wird das Laufband zunächst abgebremst und im Folgenden, bedingt durch die Motorregelung und durch das Abstoßen des Läufers („push-off“), wieder beschleunigt. Je nach Motorregelung kann die Geschwindigkeit anschließend sogar überschießen.

Der Läufer wirkt somit maßgeblich auf die Bandgeschwindigkeit ein, womit Sloat und Mitarbeitende (2014) den Großteil des Energietransfers begründen (vom Läufer auf das Laufband). Dennoch bewirkt die kontinuierliche Geschwindigkeitsänderung innerhalb eines Gangzyklus nach Savelberg und Mitforschende (1998) eine Abgabe der Energie vom Laufband an den Probanden. Sloat und Mitarbeitende (2014) beziffern in ihren Untersuchungen bei Gehgeschwindigkeiten einen Energieübertrag in Höhe von 0,11 Joule pro Schritt. Der Laufgurt „zieht“ somit das Bein in der Standphase unter den Läufer (Frishberg 1983).

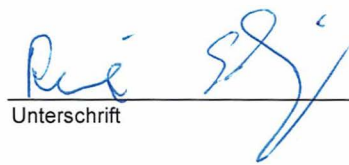
✓ **Energieübertrag**



Motorisierte Laufbänder sind somit keine rein passiv arbeitenden Systeme, denn sie vermitteln einen positiven / aktiven Energiefluss an den Probanden. Ohnehin stellen Laufbänder, bedingt durch ihre Kraft, eine gewisse Gefahrenquelle dar, was in unterschiedlichen Studien gezeigt wurde (Noffsinger et al. 2017). Ist die übertragene Energie größer als der Patient tolerieren kann, ist dies potenziell gefährlich. Sicherheitsstandards müssen eingehalten und Sicherheitsvorkehrungen (u.a. Sturzsicherungssystem, Not-Aus-Knopf) getroffen werden, um Schaden abzuwenden.

Fazit:

Bei der Verwendung von Laufbändern kommt es zur Abgabe oder zum Austausch von Energie an den Probanden.



Unterschrift

Stempel

Universitätsklinikum Halle (Saale)
Department für Orthopädie, Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Forschungslaborleiter
apl. Prof. Dr. phil. René Schwesig
Ernst-Grube-Straße 40, 06120 Halle
Tel.: 0345 557-1317, Fax: 0345 557-4890

apl. Prof. Dr. phil. René Schwesig

Forschungslaborleiter

MLU Halle-Wittenberg, Medizinische Fakultät

Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie

Labor für Experimentelle Orthopädie & Sportmedizin

Ernst-Grube-Str. 40

06120 Halle (Saale)

Literatur:

- Albouaini, K. et al. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgrad. Med. J.*, 83, 675-682.
- Frishberg, B.A. (1983). An analysis of overground and treadmill sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15, 478-485.
- Miller, J.R., et al. (2019). A systematic review and meta-analysis of crossover studies comparing physiological, perceptual and performance measures between treadmill and overground running. *Sports Med.*, 49, 763-782.
- Nigg, B.M., et al. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 98-98.
- Noffsinger, D.L., et al. (2017). Exercise treadmills: a cause of significant hand burns in young children. *J. Burn Care & Res.*, 38, 215-219.
- Parvataneni, K., et al. (2009). Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, 24, 95-100.
- Semaan, M.B., et al. (2022). Is treadmill walking biomechanically comparable to overground walking? A systematic review. *Gait Posture*, 92, 249-257.
- Sloot, L.H., et al. (2014). Energy exchange between subject and belt during treadmill walking. *J. Biomech.*, 47, 1510-1513.
- Van Caekenberghe, I., et al. (2013). Mechanics of overground accelerated running vs. running on an accelerated treadmill. *Gait Posture*, 38, 125-131.
- Van Hooren, B., et al. (2020). Is motorized treadmill running biomechanically comparable to overground running? A systematic review and meta-analysis of cross-over studies. *Sports Med.*, 50, 785-813.
- Willwacher, S., et al. (2021). A new method for measuring treadmill belt velocity fluctuations: effects of treadmill type, body mass and locomotion speed. *Sci. Rep.*, 11, 2244.
- Winter, D.A. (1978). Calculation and interpretation of mechanical energy of movement. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 6, 183-256.