

Laufbandautomatisierung: Positionsregelung und Herzratenregelung

Matthias Schindelholz¹, Ruben Rodriguez¹, Kenneth J. Hunt¹

¹Institut für mechatronische Systeme, Fachbereich Maschinentechnik, Berner Fachhochschule, Burgdorf, Schweiz
Kontakt: kenneth.hunt@bfh.ch

Einleitung

Üblicherweise wird auf einem Laufband die Geschwindigkeit vorgegeben und der Läufer muss sich der Bewegung des Laufbandes anpassen. Dies erfordert die volle Konzentration des Läufers und beschränkt dessen Bewegungsfreiheit. Möchte der Läufer die Geschwindigkeit ändern, muss er dies manuell einstellen oder ein Laufprofil im Voraus programmieren. Dieser Nachteil von Laufbändern konnte eliminiert werden, indem eine Positionsregelung entwickelt wurde, welche dafür sorgt, dass sich der Läufer immer an derselben, definierbaren Position befindet, egal wie schnell dieser läuft. Zusätzlich wurde eine Herzratenregelung für Laufbänder entwickelt. Die Neuheit an dieser Regelung ist, dass sich die Geschwindigkeit und Steigung des Laufbandes gleichzeitig ändert. Der Puls des Läufers wird so geregelt, dass ein optimales, kardiopulmonales Training erreicht werden kann. Eine weitere Möglichkeit, die Leistung des Läufers zu regeln ist die Regelung der Sauerstoffaufnahme [1].

Methoden und Materialien

Das zur Verfügung stehende Laufband war ein „Ergometer Venus 200/75“ von h/p/cosmos sports & medical gmbh (Nussdorf-Traunstein, Deutschland). Für die Regelung wurde Matlab Simulink (Mathworks) mit der Echtzeittoolbox RealTimeWindowsTarget verwendet. Für das Einlesen von Sensorsignalen wurde eine Datenerfassungskarte PCI6024E, mit Anschlussbox und Datenkabel (National Instruments) verwendet. Die Kommunikation mit dem Laufband fand über eine EIA-232 Schnittstelle statt.

Positionsregelung

Damit eine Positionsregelung realisiert werden konnte, wurde das Laufband mit einer Positionserfassung ausgerüstet. Ein Ultraschallsensor (Typ: UNAM 50 von Baumer Electric AG, Frauenfeld, Schweiz) erfasst die Position des Läufers in Echtzeit und gibt diese an eine Regelung weiter, welche in einem Computer abläuft. Nun kann die notwendige Geschwindigkeit des Laufbandes durch den Regler ermittelt und an das Laufband weitergegeben werden. Die Differenz zwischen Sollposition und Istposition ist dabei massgebend. Die ganze Regelung läuft in Echtzeit, damit die hohe benötigte Dynamik der Regelung sichergestellt werden kann. Die Struktur des Reglers wurde mittels Polvorgabe ermittelt und ausgelegt [2]. Durch die Strecke, welche durch eine Übertragungsfunktion des Motors und einem Integrator besteht und die zu kompensierende Störung, welche in diesem Fall eine Sprungfunk-

tion (1/s) ist, ist die Struktur des Reglers und somit die Anzahl der auszulegenden Pole gegeben. Die Übertragungsfunktion des Motors wurde mittels Systemidentifikation in Matlab ermittelt [3]. Die ausgelegte Regelung wurde zuerst in einer Simulation getestet. Der Läufer wurde dabei durch einen Geschwindigkeitsverlauf mit nachfolgendem Integrator ersetzt, und als Störung auf die Regelung geschaltet. Im nächsten Schritt wurde die Regelung am realen Laufband getestet.

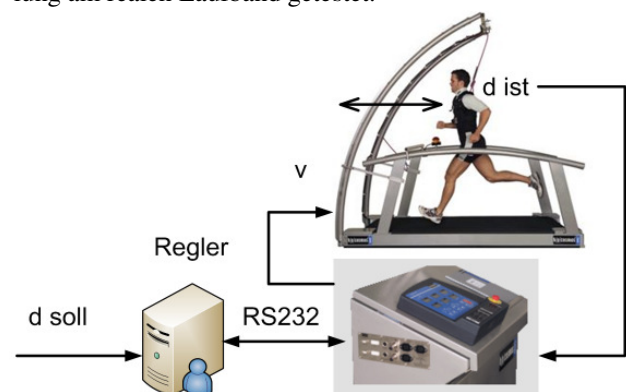


Abb. 1: Regelkreis Positionsregelung

Herzratenregelung

Zum Erfassen der Herzrate wurde ein Polar T34 (Polar, Zug, Schweiz) verwendet. Als erstes wurde eine Identifikation und Modellierung des Systems Läufer-Laufband, welche zu regeln ist, erstellt [3]. Diese Phase wurde mit Hilfe von Messungen der Systemantwort auf ein PRBS der Geschwindigkeit und Steigung des Laufbandes, realisiert. Mit dem erhaltenen mathematischen Modell, wurde für jeden Probanden ein Regler ausgelegt, getestet und optimiert. In gleicher Art wurde ein Mittelwertregler, welcher für alle Probanden funktioniert, entwickelt. Die Regelgrösse besteht aus einer gleichmässigen Änderung der Steigung und Geschwindigkeit zur Regelung der Herzrate.

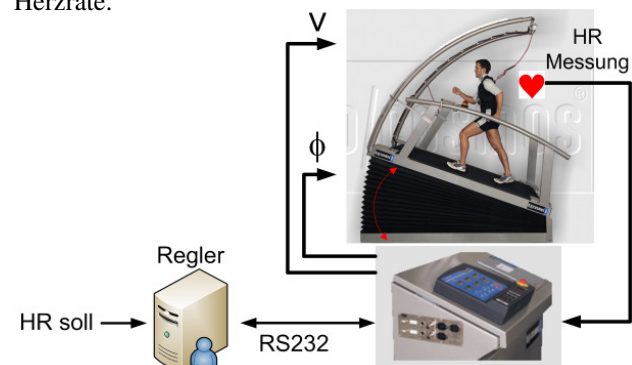


Abb. 2: Regelkreis Herzratenregelung

Ergebnisse

Beide Regelungen funktionieren sehr gut. Eine Testserie der Positionsregelung mit 9 unabhängigen Probanden konnte die Funktionalität eindeutig nachweisen. Es wurden drei verschiedenen schnelle Regler getestet und überprüft, welche Einflussfaktoren dazu führen, dass die Regelung von den Probanden als sehr gut beurteilt wurde. Eine Einstellung wurde von den meisten Probanden favorisiert, jedoch hatten das Laufverhalten, das Alter und die Geschicklichkeit einen Einfluss auf das Testergebnis (Abb. 3). Die wichtigste Erkenntnis war, dass der Regler mittels Intensitätsstufen oder sogar stufenlos eingestellt werden können muss. Die Regelung funktionierte sehr gut und konnte bei den Probanden für ein neuartiges Laufgefühl sorgen.

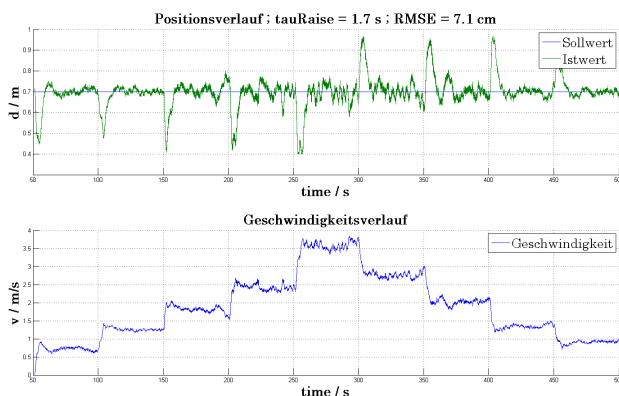


Abb. 3: Testlauf Positionsregelung

Bei der Herzratenregelung wurde auch eine grosse Testserie durchgeführt. Jeder Proband musste den Mittelwertregler und den persönlichen Regler testen (Abb. 4). Es hat sich herausgestellt, dass der persönliche Regler bei jedem Proband besser in der Lage war, die Herzrate zu regeln als der Mittelwertregler. Dennoch hat der Mittelwertregler bei jedem Probanden funktioniert.

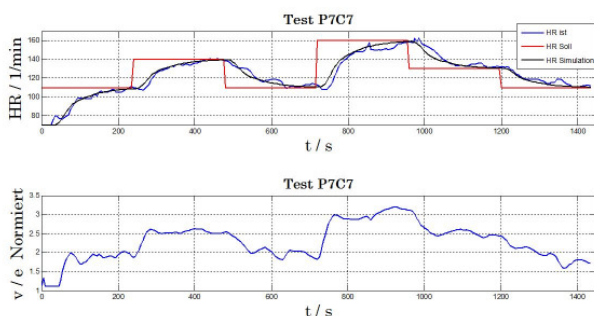


Abb. 4: Testlauf HR Regelung

Diskussion

Bei der Positionsregelung muss ein Kompromiss zwischen guter Reaktionszeit und angenehmen Verhalten des Laufbandes gemacht werden. Eine schnelle Regelung ist in der Lage, grosse Beschleunigungen des Läufers auszugleichen; Das dynamische Verhalten der Geschwindigkeit kann aber zu einem unangenehmen Laufgefühl füh-

ren. Wenn der Regler ein wenig langsamer eingestellt wird, können nicht so große Beschleunigungen des Läufers ausgeglichen werden, jedoch ist das Laufen mit konstanter Geschwindigkeit angenehmer. Die Regelung kann stufenlos eingestellt und dadurch für jeden Läufer individuell angepasst werden. Der Mittelwertregler der Herzratenregelung funktionierte in den Tests für alle Personen. Dies ist nicht selbstverständlich, da sich jeder Kreislauf ein wenig von anderen unterscheidet. Es können nun beliebige Herzratenverläufe als Sollprofil vorgegeben werden; Der Regler ist imstande, diesen Profilen zu folgen und die Herzfrequenz zuverlässig einzuregeln. Das Testergebnis der Herzratenregelung ist nicht verwunderlich. Ein persönlich angepasster Regler funktioniert besser als ein Mittelwertregler. Eine wichtige Erkenntnis war, dass es möglich ist, einen Mittelwertregler für alle Personen einzusetzen. Somit ist die Regelung für die Allgemeinheit bestens geeignet.

Schlussfolgerungen

Es ist möglich, die Herzrate und die Position auf einem Laufband zu regeln. Bei der Herzratenregelung konnte ein Mittelwertregler entwickelt werden, welcher für praktisch alle Personen funktioniert. Bei der Positionsregelung gibt es auch einen „Durchschnittsregler“, jedoch wurde deutlich ersichtlich, dass es notwendig ist, den Regler einstellen zu können. Dabei würde eine stufenlose Verstellbarkeit das Optimum darstellen.

Literatur

- [1] HUNT, K.J. ; AJAYI, B.: *Feedback Control of Oxygen Uptake During Treadmill Exercise*. In: *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 16(4):pp. 624-635, VOL. 16, NO. 4, JULY 2008
- [2] ÅSTRÖM, K.J. ; WITTENMARK, B.: *Computer-Controlled Systems: Theory and Design*. Prentice-Hall, Inc., 1997
- [3] LJUNG, L.: *System Identification: Theory for the User*. Prentice-Hall, Inc., 1998