
Widerstandselement Trockenschwimmtrainer (AZ 071504/09)

Peter Gust (Projektleiter) & Frank Büsener

Universität Wuppertal, Lehrstuhl Konstruktion (Engineering Design)

Problem

Im Leistungssport kämpfen Athletinnen und Athleten um jede hundertstel Sekunde. Zur Unterstützung wird im Maschinenbau daran gearbeitet, die Sportlerinnen und Sportler mit technischem Equipment zu unterstützen, ihre Leistungsfähigkeit zu optimieren. Für das Schwimmen sind Geräte interessant, die das Training auf dem Trocknen ermöglichen. Idealerweise sind Bewegungsablauf und Kraftaufwand mit dem Training im Wasser identisch. Zusätzlich ist es auch interessant, das Kraftniveau und den Kraftverlauf an die individuelle Trainingssituation anpassen zu können, um einen besseren Trainingseffekt zu erzielen.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung, der Aufbau und der Vergleich möglicher Widerstandseinheiten für einen Trockenschwimmtrainer. Unterschieden werden dabei passive und aktive Widerstandselemente, wobei nach eigenen Recherchen letztere eher selten in Trainingsgeräten verbaut werden. Aktive Widerstandselemente können sich durch einen eigenen Antrieb selbst bewegen, und durch eine Regelung wird die Widerstandskraft bzw. Reaktionskraft an einen vorgegebenen Kraftverlauf angepasst. Passive Einheiten verfügen nicht über einen eigenen Antrieb. Bei Aufbringen einer Bewegung und einer damit verbundenen Kraft soll das Lastniveau während der Bewegung an einen Sollwert angepasst werden. Während die aktive Einheit sich selbst in eine Ausgangslage fahren kann, muss die passive Einheit durch einen Mechanismus wie z. B. eine Feder oder die Schwerkraft wieder in die Ausgangslage gebracht werden.

Methode

Die Entwicklung der Widerstandseinheit basiert auf der Konstruktionssystematik nach VDI Richtlinie 2222 und Ergänzungen aus der Vorlesung an der Bergischen Universität Wuppertal. Dazu werden in diesem Projekt zu Anfang Anforderungen gesammelt und in einer Anforderungsliste zusammengestellt. Im anschließenden Schritt werden die einzelnen Funktionen und Teilfunktionen in einer Funktionsstruktur zusammengefasst, welche dem Konstrukteur zur besseren Identifizierung von Lösungsmöglichkeiten dient. Unter Verwendung einer morphologischen Matrix werden dreizehn verschiedene Lösungsvarianten erstellt und anschließend bewertet. Bewertungskriterien, die Einfluss auf das Ergebnis einer favorisierten Lösung haben, werden anhand der Anforderungsliste festgelegt. Bei der Auswahl wurde der jeweilige Favorit der passiven und aktiven Widerstandseinheit für den Aufbau eines Prototypen vorgesehen.

Die erste Lösung, eine **passive Widerstandseinheit**, besteht aus zwei Dämpfern mit Elektrorheologischer (ER) Flüssigkeit, welche an einen Kurbeltrieb mit Freilauf gekoppelt sind. Durch diese Anordnung kann der gesamte Aufbau um eine Seiltrommel erweitert werden, um ihn in einem Trockenschwimmtrainer zu verbauen. ER-Dämpfer bieten den Vorteil einer variabel einstellbaren Dämpfung, da die Viskosität des Fluides durch ein elektrisch aufgebautes Feld veränderbar ist. In Abb. 1 ist der Aufbau der Widerstandseinheit dargestellt.

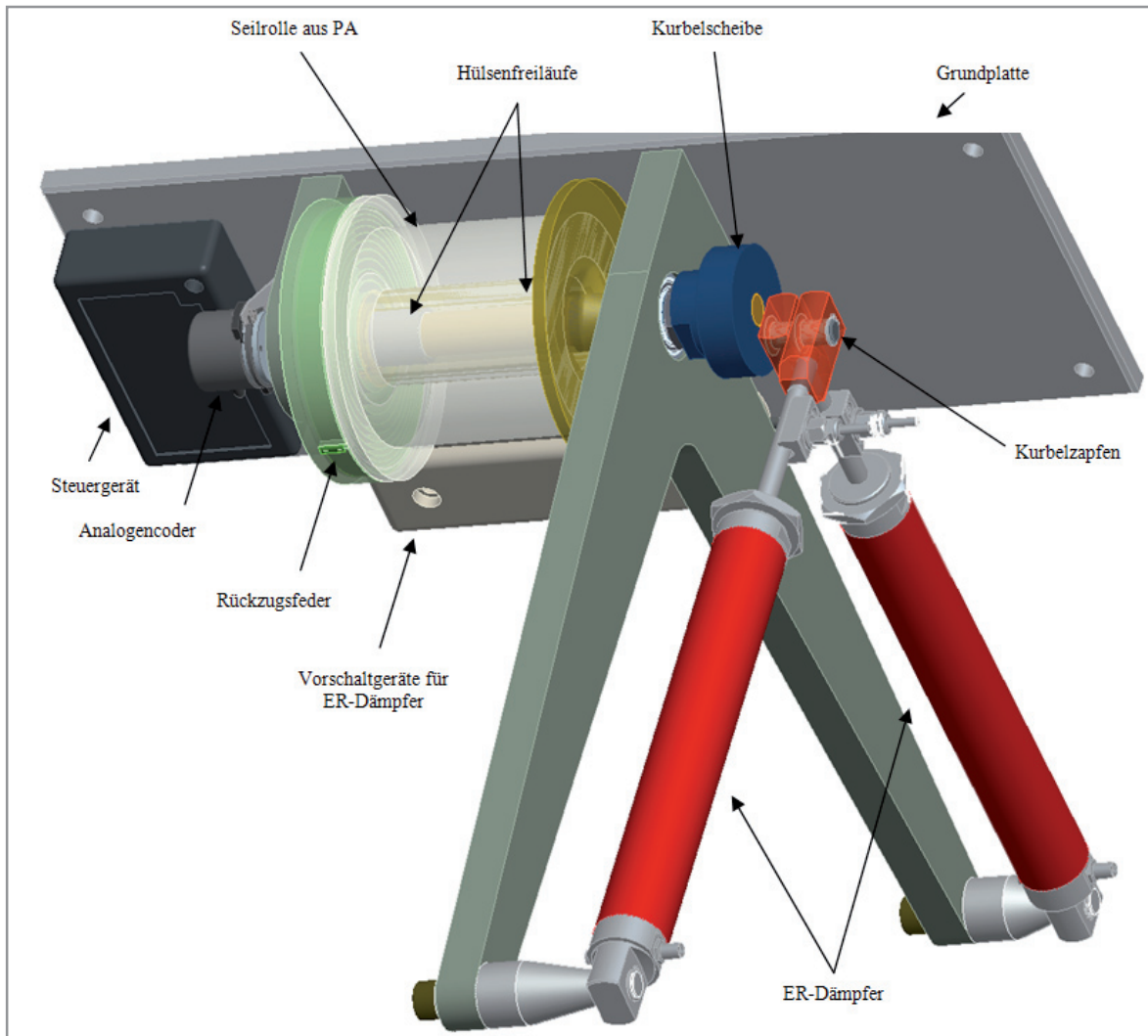


Abb. 1. Passive Widerstandseinheit

Es muss berücksichtigt werden, dass durch den Kurbeltrieb ein ungleichförmiger Geschwindigkeitsverlauf der Dämpfer hervorgerufen wird, was wiederum einen ungleichförmigen Kraftverlauf der Seiltrommel zur Folge hat. Jedoch kann dies durch eine winkelabhängige Ansteuerung der ER Dämpfer kompensiert werden, da diese bereits für das Variieren des Widerstandsniveaus vorhanden ist.

Nach dem Aufbau der Widerstandseinheit wird diese auf einem eigens hierfür entwickelten Prüfstand verbaut, um Dauerversuche durchzuführen. Auf diesem Prüfstand wird das Zugseil durch einen Pneumatikzylinder gezogen, zudem werden parallel

Zugkraft, Position und Temperaturen aufgezeichnet. Die Temperatursensoren werden an den ER Dämpfern angebracht. Des Weiteren wurde die Möglichkeit einer Regelung der Einheit aufgebaut, in der die Dämpfer in Abhängigkeit zur Zugkraft justiert werden. Bei dieser Vorgehensweise werden Temperatureinflüsse und Fehler in der Winkelauswertung kompensiert.

Die 2. favorisierte Lösung, eine **aktive Widerstandseinheit**, wird durch einen elektrisch angetriebenen Linearantrieb realisiert. Um die hohe Geschwindigkeit von ca. 2,5 m/s erreichen zu können, wird eine Lösung mit Zahnriemen und Servomotor von der Firma Isel genutzt. Darüber hinaus ist der Laufwagen mit einem Kraftaufnehmer ausgestattet, da die Regelung kraftabhängig erfolgt. Der Aufbau ist in Abb. 2 zu sehen.

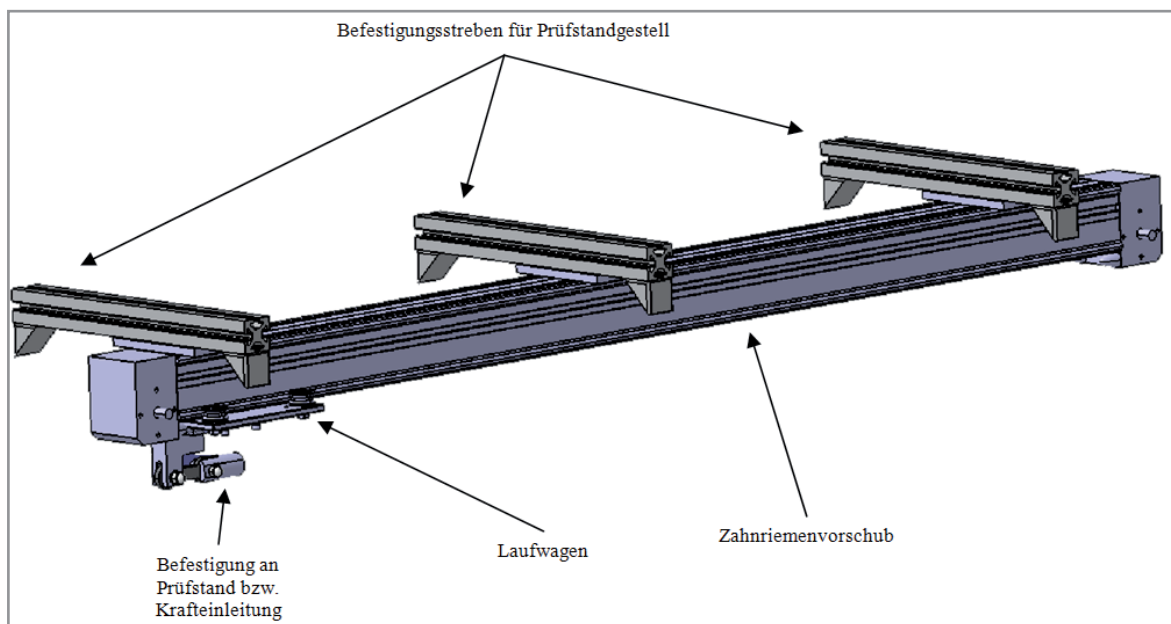


Abb. 2. CAD-Modell Zahnriemenvorschub

Eine direkte Regelung der Kraft mit dem ausgelieferten Controller ist leider nicht möglich, da die Syntax des Controllers eine solche Manipulation nicht zulässt. Der Controller ist jedoch mit verschiedenen Schnittstellen ausgestattet, um ihn extern mit LabVIEW ansteuern zu können. Für die Dauerversuche kann diese Einheit ebenfalls in den Prüfstand eingebaut werden, wobei die Temperatur am Servomotor aufgezeichnet wird.

Ergebnisse

Erste Messungen an der passiven Widerstandseinheit haben gezeigt, dass sich nicht die gewünschten Ergebnisse einstellen, da der ungleichförmige Kraftverlauf durch die Steuerung nicht kompensiert werden kann. Eine Messreihe zweier Zyklen zeigt Abb. 3, in der die Kraft von 150 Newton über den Weg konstant sein sollte.

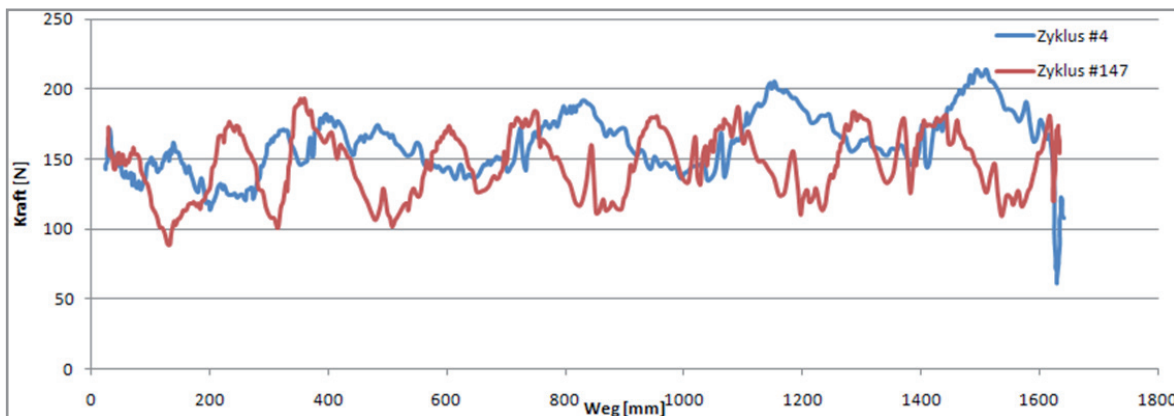


Abb. 3. Kraftverlauf (gesteuert)

Ein Zyklus ist mit der Zug-Druck-Phase der Athletin bzw. des Athleten gleichzusetzen.

Es wurde eine weitere Messreihe durchgeführt, in der die Steuerung durch eine Regelung ersetzt wurde. Die Messreihe zeigt Abb. 4, in der die Kraft konstant 100 Newton betragen sollte.

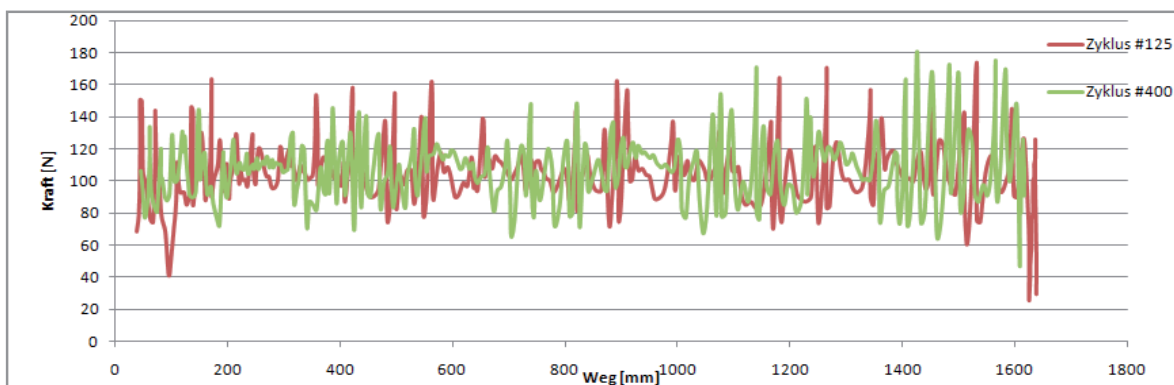


Abb. 4. Kraftverlauf (geregelt)

In diesem Auszug von zwei Messreihen ist deutlich zu erkennen, dass es sich nur um „kurze“ Spitzenwerte handelt, welche mit zunehmender Zyklenzahl vermehrt auftreten. Die Frequenz des programmierten P-Reglers beträgt ca. 300 Hz. Auffallend bei der Regelung im Vergleich zur Steuerung ist die hohe Temperaturdifferenz der beiden Dämpfer, die nach 500 Zyklen ca. 25° C beträgt. Dies ist auf Fertigungstoleranzen der Dämpfer zurückzuführen

Zum Projektabschluss kann nur die passive Widerstandseinheit getestet werden, da die aktive Einheit aufgrund von Schnittstellenproblemen nicht in Betrieb genommen werden konnte. In einem Anschlussprojekt, finanziert durch die BUW, wurde die aktive Widerstandseinheit mit einer seriellen Schnittstelle betrieben, in der erste Versuche durchgeführt wurden.

Diskussion

Die Messwerte zeigen, dass der Aufbau mit ER-Dämpfern unter Verwendung eines Kurbeltriebes ungeeignet ist, so dass eine andere Möglichkeit gefunden werden muss. Eine weitere Messreihe der Dämpfer auf einer Prüfvorrichtung hat gezeigt, dass der Stick-Slip-Effekt mit ansteigender Spannung, zum Aufbau des Feldes, bei geringen Geschwindigkeiten zunimmt. Da die Dämpfer im Kurbeltrieb pro Umdrehung zweimal der Geschwindigkeit „0“ ausgesetzt sind und einen sinusförmigen Geschwindigkeitsverlauf haben, können die Störungen darauf zurückzuführen sein. Bei einer Überarbeitung des Konzeptes nach Projektabschluss wurden die Dämpfer neu angeordnet und durch ein Getriebe in Form eines Flaschenzuges erweitert. Den Aufbau zeigt Abb. 5.

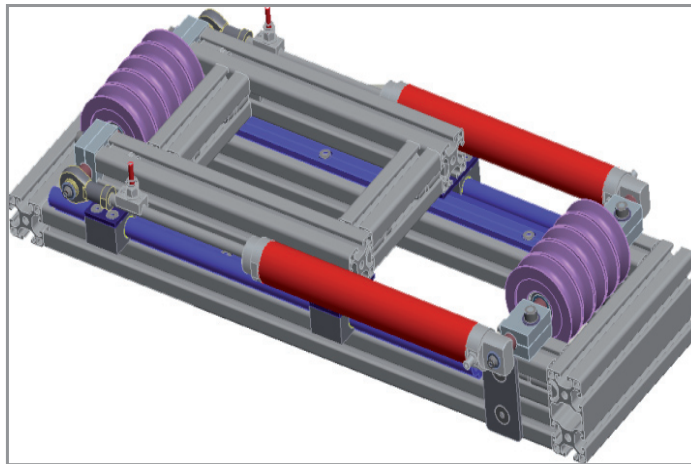


Abb. 5. Überarbeitetes Konzept mit ER-Dämpfer

Bei dieser Form der Anordnung sind die Dämpfer keinen großen Geschwindigkeitsänderungen ausgesetzt, sodass eine Steuerung gemäß den Anforderungen realisiert werden konnte.

Literatur

- W. Freitag (Hrsg.). (2000). *Schwimmen - Lernen und Optimieren Band 17*; ISBN-10: 3-934706-16-9.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H (2007). *Pahl/Beitz Konstruktionslehre* (7. Auflage). Springer Verlag; ISBN: 978-3-540-34060-7.
- Reischle, K. (1988). *Biomechanik des Schwimmens*. Sport Fahnemann Verlag; ISBN: 3-88565-010-X.
- Spikermann, M. (1992). *Analysen und Diagnose schwimmspezifischer Kraft-, Beweglichkeits- und Technikmerkmale*. Köln: Sport und Buch Strauß. ISBN: 3-89001-095-4.
- Witt, M. (2008). *Antriebsgestaltung bei zyklischen Bewegungen*. Verlag Dr. Kovac; ISBN: 978-3-8300-3710-1.
- VDI2222, Verein Deutscher Ingenieure. *Konstruktionsmethodik Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Beuth Verlag GmbH.