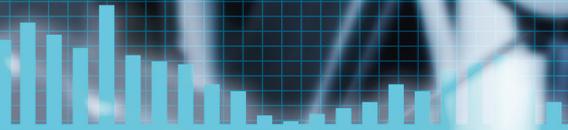


Advocate, Aerobic, Affect, Alert, Ambulatory, Appearance, Appetite, Athlete, Athletics, Avoidance, Games, Goal

Goodwill, Grip, Gymnasium, Vaccination, Veal, Vigorously, Victory, Vigorous, Vital, Vitamins, Voluntary, Nervous, Nurse, Nutrition, Eating, Education, Effect, Elder, care, Energetic, Emotional, Endurance, Energy

Erect, Ergonomics, Establish, Exercise, Experience, Tackle, Targets, Team, Teammate, Tennis, Testing, Therapeutic

PERFORMANCE



Entwicklung intelligenter
Sportgeräte

Smarter trainieren

Forscher der Cleveland State University entwickeln neuartige Sportgeräte für Kraft- und Ausdauertraining, Reha-Sport sowie für den Einsatz im All. Die dSPACE MicroLabBox erfasst dabei sämtliche Messdaten und steuert die Prototypen der Sportgeräte, die in der Lage sind, sich ganz individuell an den jeweiligen Benutzer anzupassen.



Der Einsatz von Sportgeräten lässt sich bis in die Zeit der industriellen Revolution zurückverfolgen. Seitdem wurden die Geräte ständig weiterentwickelt (Abbildung 1) und bieten heute sogar Bildschirme zur Anzeige von Widerstand, Geschwindigkeit und Herzfrequenz. Entweder sind die Geräte auf Muskelaufbau ausgelegt, wie zum Beispiel beim Heben von Gewichten, oder für das Herz-Kreislauf-Training, wie Rudergeräte und Laufbänder. Während man Gewichte oder den Widerstand bei Rudergeräten einstellen kann, ist die Art und Weise, wie die Geräte der Bewegung des Trainierenden entgegenwirken, die sogenannte mechanische Impedanz, jedoch immer gleich.

Das Ziel: Individuelle mechanische Impedanz

Das Forschungsprojekt basiert darauf, dass eine fixe mechanische Impedanz für ein effizientes Training nicht optimal ist. Geräte im Reha-Sport-Bereich beispielsweise sollen der Bewegung nicht einfach nur einen Widerstand entgegenbringen, sondern sie führen. Zudem sollen Therapeuten und Ärzte die Geräte programmieren können, um Führung und Widerstand in einem Bewegungszyklus, für eine Trainingseinheit oder im Rahmen eines langfristigen Rehabilitationsprogramms auszubalancieren. Für Astronauten im All muss trotz Schwerelosigkeit das Heben von Gewichten nachgebildet werden; zudem unterliegen Gegenstände, die ins All geflogen werden, strengen Gewichts- und Volumenbeschränkungen. Daher liegt es nahe, im All sowohl

>>



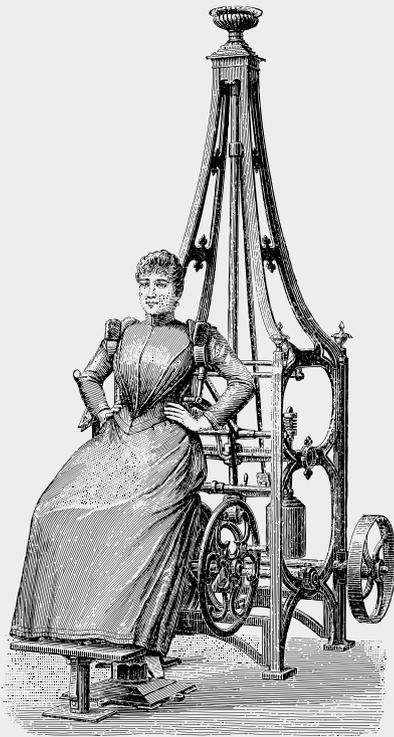


Abbildung 1: Sportgeräte haben sich zwar in Optik und Bedienung weiterentwickelt, aber die mechanischen Abläufe sind oft weitgehend unverändert.

für Kraft- als auch für Ausdauertraining dieselben Geräte zu verwenden. Das Forscherteam arbeitete zusammen mit dem NASA Glenn Research Center im Rahmen des Exercise Countermeasures Programs an Geräten, die diese Anforderungen erfüllen. Unter anderem bewies das Team seine Kompetenz im Bereich Energierückgewinnung: Es entwickelte die skalierte Version eines Rudergeräts, dessen Impedanz programmierbar ist und das vollständig vom Trainierenden mit Energie versorgt wird. Die autarke Stromversorgung bietet einen weiteren Vorteil gegenüber anderen Lösungen, da das Gerät nicht an das Stromnetz des Raumfahrzeugs angeschlossen sein muss, sondern sogar Energie einspeisen könnte.

Eigenschaften der Sportgeräte

Die neuartigen Sportgeräte, die über Motoren und Regelsysteme zur kontinuierlichen Erzeugung einstellbarer mechanischer Impedanzen verfügen, müssen mehrere besondere Eigenschaften bieten:

- Die Möglichkeit zur Kombination direkter Messungen und modellbasierter Schätzungen, um in Echtzeit detaillierte Informationen über die aktuelle Leistungsfähigkeit des Trainierenden zu gewinnen.
- Aktuelle Leistungsindikationen, um die mechanischen Eigenschaften anzupassen und die voreingestellte, programmierbare Zielvorgabe zu maximieren.
- Generieren optimaler Hinweise in Echtzeit für den Trainierenden, damit

er seine mechanische Leistung anpassen kann.

- Überwachen, Verwalten und Lösen von Konflikten zwischen Mensch und Maschine, inklusive einer Not-Aus-Funktion (Abbildung 2).

Herausforderungen

Die neuen Sportgeräte variieren die mechanische Impedanz sowohl während eines einzelnen Bewegungszyklus als auch über längere Zeiträume hinweg. Die Auswirkungen solcher Variationen auf den Körper – speziell auf gezielte Maßnahmen zum Muskelaufbau – müssen gut durchdacht sein. Dies gelingt durch die Modellierung, auf deren Basis die Impedanzvariationen derart festgelegt werden, dass sie sich vorteilhaft auf den Körper auswirken. In einer Im-



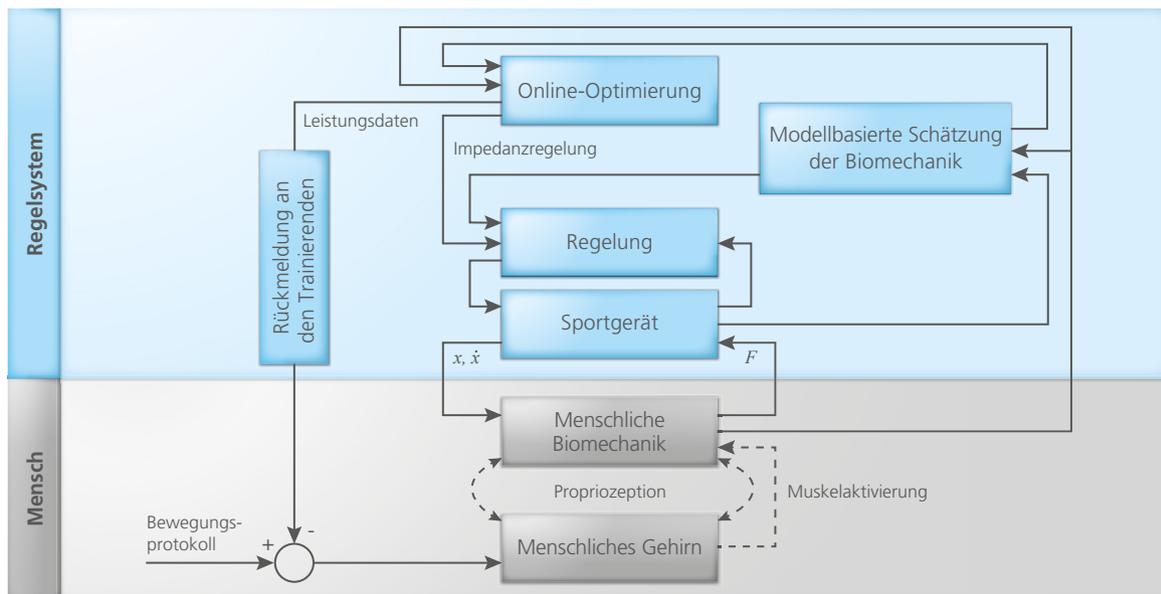


Abbildung 2: Funktionales Blockschaltbild für fortschrittliche Sportgerätekonzepte. Das System generiert während des Trainings Hinweise für den Trainierenden, damit er seine Leistung anpassen kann. Diese Anpassungen werden zusammen mit den mechanischen Impedanzvariationen vom System umgesetzt, um den Trainingseffekt zu optimieren.

plementierung werden optimale Impedanzanpassungen basierend auf Informationen zum aktuellen Status des Trainierenden und des Geräts vorgenommen. Ein Regelsystem setzt die Anpassungen durch entsprechende Befehle an den Motor des Geräts um.

Optimal trainieren

Grundsätzlich lässt sich für jedes Trainingsziel ein optimales Trainingsprogramm gestalten. Heißt das Trainingsziel Gewichtsabnahme, so sollte das Training die Belastung idealerweise auf so viele Muskeln wie möglich verteilen, um so die Beanspruchung zu maximieren. Im Reha-Bereich oder beim Bodybuilding dagegen ist das primäre Ziel der Aufbau einer bestimmten Muskelgruppe. Bei gelenkübergreifenden Mus-

keln wie der rückseitigen Oberschenkelmuskulatur ist es nicht auf den ersten Blick offensichtlich, wie die optimale Übung aussieht. Da jeder Körper anders auf einen Trainingsreiz reagiert, sind maßgeschneiderte Trainingsprogramme wichtig, um den individuellen Anforderungen gerecht zu werden. Regelbare Übungsgeräte ermöglichen es den Athleten, durch ideal verteilte und an ihren Körper angepasste Belastungen die Trainingsleistung zu optimieren und das Verletzungsrisiko zu minimieren. Ältere Menschen und Reha-Patienten können Beschwerden am Bewegungsapparat auf diese Weise sicher und schonend lindern.

Biomechanische Modellierung

Bei fortschrittlichen Sportgeräten überwacht ein Regelsystem kontinuierlich

das Zusammenspiel von Bewegung und Kraftaufwand. Diese Daten dienen dazu, Bewegungen und Muskelkräfte zu schätzen. Auf diese Weise ist es möglich, das Training zu bewerten und dem Trainierenden in Echtzeit Rückmeldung zu geben. Grundlage für all dies ist ein detailliertes mathematisches Dynamikmodell des menschlichen Bewegungsapparates, kombiniert mit Statusschätzungen, die robust genug sind, um auch bei ungenauen bzw. unvollständigen Daten sowie einem ungenauen Modell zuverlässige Ergebnisse zu liefern. Die Modelle werden durch die Bewegungserfassung und Elektromyografie-Aufzeichnungen validiert.

Statusschätzung

Um ein System so zu steuern, dass es

>>

„Mithilfe der dSPACE MicroLabBox ließen sich die Rohdaten leicht erfassen und die Geräteprototypen in Echtzeit bedienen. Dadurch konnten wir uns auf die eigentlichen Regelalgorithmen konzentrieren, statt uns mit den Details der Implementierung zu beschäftigen.“

Hanz Richter, Cleveland State University



Abbildung 3: Während eines Versuchs erfasst die dSPACE MicroLabBox (linkes Bild) die Daten der Elektromyografie von 16 Kanälen sowie die mechanischen Daten des Sportgeräts mit einer Abtastrate von 1 kHz. Ein weiteres System sammelt Bewegungsdaten mithilfe visueller Marker (helle Punkte) und Werte über den Metabolismus. Die Daten aller Systeme werden offline nachbearbeitet und synchronisiert.

wie gewünscht arbeitet, müssen die un beobachteten Größen des Systems geschätzt werden. Dies sind zum Beispiel verschiedene Systemparameter, ungemessene Eingänge und der interne Systemstatus. Bei einem Sportgerät gehören die vom Trainierenden ausgeübte Kraft, Reibungsparameter, Muskelaktivierungssignale und viele mehr zu diesen Größen. Um unbekannte Systemgrößen zu schätzen, benutzt das Team ein Kalman-Filter in Kombination mit anspruchsvollen Schätzern wie Unscented Kalman-Filter und H-unendlich Regelung.

Optimierung

Damit die Nutzer der Sportgeräte bestmöglich von ihrem Training profitieren können, müssen mehrere Systemkomponenten optimiert werden, einschließlich der Konstruktion des Gerätes an sich, der Schätzalgorithmen, Regelalgorithmen und Sollgrößen. Abgesehen davon, dass viele Einflussfaktoren des Systems unbekannt oder unmessbar sind, verändern sich einige von ihnen

mitunter auch über die Zeit aufgrund von Verschleiß und Alterung oder weil sich die Umgebungsbedingungen ändern. Was sich definitiv ändert, ist das menschliche Modell, da unterschiedliche Personen das Gerät nutzen. Zu Optimierungszwecken setzt das Forscherteam auf schnelle evolutionäre Algorithmen, die einen Satz von Lösungen für ein Optimierungsproblem enthalten. Die potentiellen Lösungen werden in Echtzeit getestet und evaluiert und tauschen zur Optimierung außerdem Informationen untereinander aus.

Echtzeitregelung mit der MicroLabBox

Bei der Spezifizierung der modellbasierten Regelalgorithmen ist zu beachten, dass sie ein optimales Variieren der mechanischen Impedanz ermöglichen sollen, ohne die Sicherheit des Trainierenden zu gefährden. Hierfür setzt das Forscherteam auf theoretische Grundlagen, die die gesamte Spannweite – von völliger Passivität bis zu extremer Aktivität – berücksichtigen. Für die Echt-

zeitimplementierung sind leistungsstarke Datenerfassungs- und Regelsysteme notwendig, die sehr schnell analoge Daten mehrerer Kanäle verarbeiten müssen und dabei auch eine anspruchsvolle Benutzerschnittstelle bieten. Das Team entschied sich für die dSPACE MicroLabBox, um die Rohdaten zu erfassen und die Sportgeräteprototypen in Echtzeit zu bedienen (Abbildung 3). Mit der Experimentier-Software ControlDesk gestaltet sich das Vorbereiten der Datenerfassung und Echtzeitregelungsexperimente schnell und effizient, da bestehende MATLAB®/ Simulink®-Simulationsmodelle leicht in Echtzeitschnittstellen konvertiert werden können. Dadurch können sich die Forscher auf die Arbeit an den eigentlichen Regelalgorithmen konzentrieren, anstatt sich mit den Details der Implementierung auseinanderzusetzen.

Erste Experimente am Rudergerät

In der Anfangsphase des Projekts lag der Fokus auf der Analyse des Bewegungsablaufs bei einem herkömmlichen

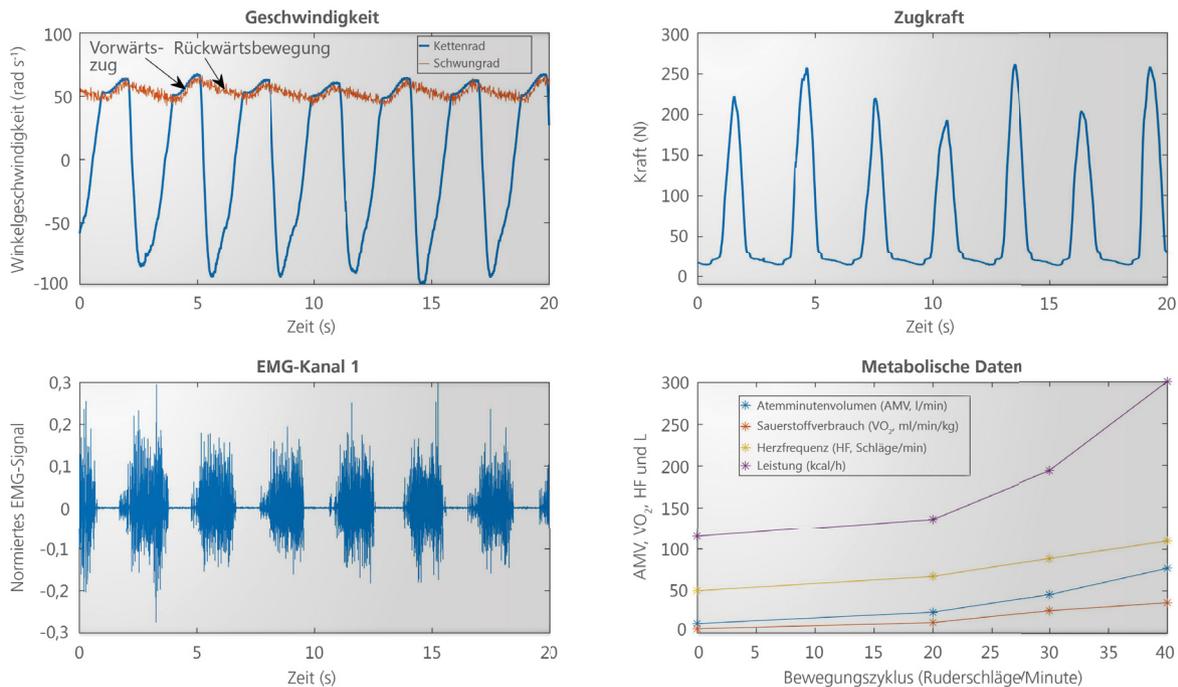


Abbildung 4: Beispielhafter Datensatz (Markerdaten sind nicht abgebildet). Kettenrad und Schwungrad bewegen sich beim Anziehen gleich schnell, auf dem Rückweg sind sie entkoppelt. Metabolische Daten werden bei unterschiedlichen Ruderschlag-Frequenzen (Ruderschläge/Minute) und während der Ruhephase erfasst.

Rudergerät. Das Ziel war, umfassende Einblicke in den Übungsablauf zu erhalten. Dazu gehörte das Erfassen von spezifischen Daten der Maschine und des Trainierenden beim Rudern, die über den derzeitigen Stand der Forschungsliteratur hinausgehen. Maschinenspezifische Daten sind die Kraft am Zugseil und die Rotationsgeschwindigkeit der drehenden Komponenten im Gerätinneren, also des Kettenrads und des Schwungrads (Abbildung 4). Die spezifischen Daten des Trainierenden sind komplexer und lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Bewegung, Muskelaktivierung und metabolische Daten. Experimente zur Datenerfassung wurden im Bewegungslabor von Prof. van den Bogert durchgeführt. Das Labor verfügt über ein Bewegungserfassungssystem mit 10 Kameraperspektiven (Motion Analysis Corp.) und Cortex-Software. Ein 16-kanaliges drahtloses EMG-System (Delsys) erfasst die Daten der Muskelaktivierung. Zu den Software-Werkzeugen für die Modellierung und die Simulation des Bewegungs-

apparats gehören OpenSim, Autolev, MATLAB, IPOPT, SNOPT, GPOPS und interner Code (MATLAB und C++). Sie ermöglichen die prädiktive Simulation durch direkte Umsetzung von Bewegungsdynamik und Optimierungskriterien. Die Daten aus diesen Experimen-

ten werden sowohl zum Aufbauen und Absichern biomechanischer Modelle verwendet als auch zum Entwickeln von Geräten mit Motor. ■

Hanz Richter, Cleveland State University

Abbildung 5: Das Forscherteam (v. l. n. r.): Hanz Richter (außerordentlicher Professor, Maschinenbau), Antonie van den Bogert (Professor, Maschinenbau), Ken Sparks (Professor, Bewegungswissenschaft) und Dan Simon (Professor, Elektrotechnik und Informatik, assoziierter Vizepräsident universitärer Forschungsbereich).

