



School of
Engineering

IAMP Institut für Angewandte
Mathematik und Physik

Masterarbeit (Industrial Technologies)

IoT-Retrofitsystem für Krafttrainingsma- schinen

Autoren	David Graf
Hauptbetreuung	Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin
Projektpartner	Claudio Viecelli Institut für molekulare Systembiologie ETH Zürich
Datum	28.4.2020

Zusammenfassung

Während sich in unserem Alltag heute fast alles digital abspielt, ist der Kraftraum davon weitestgehend unberührt geblieben. Nach wie vor erfolgt die Dokumentation von Krafttraining typischerweise auf Kartonkarten durch den Sportler selbst. Wie Toigo et al. bereits 2006 feststellten, sind die so festgehaltenen Deskriptoren für die Dokumentation von Krafttraining, nach wissenschaftlichen Standards, unzureichend (Toigo & Boutellier, 2006). Krafttraining kann Risikofaktoren wie Insulinresistenz, Ruhestoffwechsel, Glukosestoffwechsel, Blutdruck, Körperperfekt und die gastrointestinale Transitzeit positiv beeinflussen, welche mit Diabetes, Herzerkrankungen und Krebs assoziiert werden (Winett & Carpinelli, 2001). Gerade in Hinblick auf die demographische Entwicklung der Gesellschaft, erscheint eine akkurate, automatisierte Dokumentation von Krafttraining darum erstrebenswert.

In der vorangegangen Vertiefungsarbeit, mit Claudio Viecelli von der ETH Zürich, wurde bereits aufgezeigt, wie die Erfassung der für die Beschreibung von Krafttraining wichtigen mechano-biologischen Deskriptoren mittels handelsüblichen Smartphones umgesetzt werden kann. Dabei wurde das Smartphone auf dem Gewichtsblock befestigt und zeichnete das Training mit Beschleunigungssensoren auf. Während es gelang die Anzahl Wiederholungen, die Spannungsdauer pro Kontraktionsart einer Wiederholung sowie die gesamte Spannungsdauer zuverlässig zu bestimmen, war keine Aussage über den Bewegungsumfang und das verwendete Gewicht möglich (Viecelli et al., 2020).

In dieser Arbeit wird gezeigt, wie es mit einem IoT-Retrofittsystem, welches direkt an den Krafttrainingsmaschinen befestigt wird, gelingt auch die fehlenden Deskriptoren nach Toigo et al. akkurat zu bestimmen. Es werden verschiedene Varianten vorgestellt, welche den unterschiedlichen Anforderungen der relevanten Interessengruppen bestmöglich gerecht werden. Dabei gilt es sowohl wissenschaftliche, betriebswirtschaftliche, als auch kundenspezifische Aspekte zu berücksichtigen.

Als Ersatz für die Trainingskarte werden dem Sportler die Trainingsdaten, in Form eines Dashboards aufbereitet, als Webseite dargestellt. Durch das automatische Erstellen der Trainingsdokumentation kann er sich erstmals voll auf das Training konzentrieren.

Trainiert der Sportler allein, ist es wünschenswert, dass er ein zeitnahe Feedback bekommt um sein Trainingsverhalten entsprechend anpassen zu können. Hierfür werden zwei Varianten von Trainingsassistenten vorgestellt, welche dem Sportler zeitnah eine visuelle oder haptische Rückmeldung geben.

Die einheitliche und zuverlässige Erhebung der Deskriptoren mit solchen Retrofittsystemen ermöglicht einen Paradigmenwechsel hin zu einem datengetriebenen Vorgehen. Werden Retrofittsysteme im grossen Massstab eingesetzt, wird es mit Hilfe der so gesammelten Trainingsdaten möglich ein tieferes Verständnis für das reale Trainingsverhalten zu erlangen und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Im Idealfall ist es möglich, erfolgreiche Strategien für das Training zu identifizieren, welche genutzt werden können, um dem altersbedingten Muskelschwund effektiv entgegen zu wirken. Die Daten könnten zudem helfen persönliche Trainingsempfehlungen anzufertigen, welche optimal auf den Sportler zugeschnitten sind.

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Projektarbeit an der School of Engineering

Mit der Abgabe dieser Projektarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Projektarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 39 und 40 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHAW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschriften:

.....

.....

.....

.....

Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Projektarbeiten zu Beginn der Dokumentation nach dem Titelblatt mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Vorteile von Krafttraining	5
1.2	Wissensstand.....	6
1.2.1	Akademische Forschung.....	6
1.2.2	Bestehende Produkte.....	8
1.3	Diese Arbeit.....	12
2	Retrofitsystem	13
2.1	Technische Aspekte.....	13
2.1.1	Einbauraum.....	13
2.1.2	Hallsensoren	14
2.1.3	Bestimmen der Position	17
2.1.4	Zählen der Gewichtsscheiben	22
2.1.5	User-Identifikation	26
2.1.6	Einplatinenrechner	27
2.1.7	Batteriebetrieb.....	30
2.1.8	Datenübertragung	31
2.1.9	Befestigung	32
2.1.10	Datenspeicherung	33
2.2	Interessensgruppen.....	34
2.2.1	Sportler	34
2.2.2	Forschende	35
2.2.3	Fitnesszentrenbetreiber.....	36
2.3	Retrofitsystem-Varianten.....	37
2.3.1	Übersicht verschiedene Varianten.....	37
2.3.2	Variante Scheibenzähler	38
2.3.3	Variante Hall-Array.....	40
2.3.4	Variante Eco	42
2.3.5	Variante Klon.....	44
2.4	Datenauswertung	47
2.4.1	Naiver Ansatz.....	47
2.4.2	Schwellenwert-Ansatz.....	49
2.4.3	Mehrpunktansatz.....	50
2.5	Testen	53
2.6	Trainingsdokumentation	54

2.7	Folgestudie und Projekte.....	55
2.8	Machine Learning.....	56
2.9	Zusammenfassung.....	57
3	Trainingsassistent	59
3.1	Beispiele von bestehenden Trainingsassistenten	59
3.2	Reaktionszeiten.....	60
3.3	Userpräferenzen	60
3.4	Trainingsassistent-Varianten	61
3.4.1	Variante Mini-Display	61
3.4.2	Variante Feedback-Griff	62
3.5	Datenauswertung	64
3.6	Gamification	65
3.7	Zusammenfassung.....	66
4	Fazit	67
4.1	Zusammenfassung.....	67
4.2	Kritische Reflexion.....	68
4.3	Ausblick.....	69
4.4	Schlusswort.....	69
5	Literaturverzeichnis	70
5.1	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	72
6	Anhang.....	75
6.1	Aufgabenstellung	75
6.2	Protokolle	76

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit die männliche Form gewählt, nichts desto weniger beziehen sich die Angaben auf Angehörige beider Geschlechter.

Glossar

<i>Retrofitsystem</i>	Ein Nachrüstsystem für bestehende Maschinen
<i>IoT / Internet of Things</i>	Sammelbegriff für die Technologien einer vernetzten Welt
<i>Smart devices</i>	Geräte wie Smartphone, Tablet, Smartwatches etc.
<i>Sportler</i>	Trainierende Person (User)
<i>TOF-Sensor</i>	Distanzmesssensor basierend auf dem Time of Flight Prinzip
<i>Hallsensor</i>	Magnetfeldsensor basierend auf dem Hall-Effekt
<i>SoC</i>	System-on-a-Chip, Einplatinenrechner
<i>PCB</i>	Printed Circuit Board, Leiterplatte
<i>GUI</i>	Graphical User Interface, grafische Benutzeroberfläche
<i>Feedback</i>	Rückmeldung an den Sportler
<i>Thread</i>	Programmstrang

1 Einleitung

Sport hat einen höheren Stellenwert in der Gesellschaft als noch vor einigen Jahren (BFS, 2017). Die WHO empfiehlt Erwachsenen mindestens zweimal pro Woche Krafttraining auszuüben (WHO, 2020). Bei Krafttraining wird zwischen Freihanteltraining und dem Training mit Krafttrainingsmaschinen unterschieden. Bei Letzterem ist die Bewegung im Raum durch die Führungen der Maschine vorgegeben. Es ist dadurch besser für Einsteiger und Gelegenheitssportler geeignet.

1.1 Vorteile von Krafttraining

Krafttraining kann Risikofaktoren wie Insulinresistenz, Ruhestoffwechsel, Glukosestoffwechsel, Blutdruck, Körperfett und die gastrointestinale Transitzeit positiv beeinflussen. Diese werden mit Diabetes, Herzerkrankungen und Krebs assoziiert (Winett & Carpinelli, 2001).

Die positive Wirkung von Krafttraining auf die Gesundheit ist durch zahlreiche wissenschaftliche Studien gut belegt. Nachfolgend sind einige Krankheiten aufgeführt, bei denen Krafttraining helfen kann.

Mit **Sarkopenie** wird der degenerative Abbau der Muskelmasse und Muskelkraft bezeichnet. Betroffenen Person wird beaufsichtigtes Krafttraining empfohlen (A. J. Cruz-Jentoft, 2014). Durch Sarkopenie steigt das Risiko für körperliche Behinderung, schlechte Lebensqualität und Tod (Cruz-Jentoft et al., 2014) (Rosenberg, 1989) (Baumgartner et al., 1998).

Bei **Übergewicht** wird typischerweise aerobes Training zur Reduktion von Körperfett empfohlen. Dabei wird die Energie für die Muskeln über Sauerstoff bereitgestellt. Es gibt allerdings Indizien dafür, dass anaerobes Training dabei helfen kann den Körperfettanteil niedrig zu halten. Das wird damit begründet, dass aerobes Training zusammen mit einer Reduktion der Kalorieneinnahme die Stoffwechselrate verkleinert und es somit schwieriger macht, weiter abzunehmen. Zudem steigt so die Wahrscheinlichkeit wieder zuzunehmen und die Diät abzubrechen. Aus diesen Gründen ist es für langfristigen Erfolg besser auf eine leichten Kaloriendefizit und anaerobes Training zu setzen (Winett & Carpinelli, 2001) (Pollock et al., 2000).

Bluthochdruck ist eine sehr häufige Wohlstandskrankheit, von welcher alleine in den USA 24 Prozent der erwachsenen Bevölkerung betroffen sind (Kelley & Kelley, 2000). Bei 21 Senioren führte, dreimal wöchentlich über sechs Monate hinweg durchgeführtes Krafttraining, zu einer deutlichen Reduktion des Ruheblutdrucks (Martel et al., 1999). Eine Meta-Analyse kommt zum Schluss, dass es durch regelmässiges Krafttraining zu einer Absenkung von zwei Prozent auf den systolischen und vier Prozent auf den diastolischen Ruheblutdruck kommt (Kelley & Kelley, 2000).

Die Anzahl **Rückenverletzungen** am Arbeitsplatz können durch Krafttraining reduziert werden, was zu einer Reduktion der Versicherungsprämie führen kann (Mooney et al., 1995).

Zusätzlich zu den positiven Auswirkungen auf den Körper berichten Sportler, die Krafttraining machen, häufig auch von einer Steigerung des Selbstbewusstseins und des Selbstwertgefühls.

1.2 Wissensstand

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, welche Arbeiten es in der akademischen Forschung zur Digitalisierung von Krafttraining es bereits gibt und welche bestehenden Produkte auf dem Markt verfügbar sind.

1.2.1 Akademische Forschung

Sowohl für die bei der Dokumentation von Krafttraining zu bestimmenden Deskriptoren als auch für die technische Umsetzung gibt es bereits Publikationen.

Theorie zur Trainingsbeschreibung

Die klassischen Deskriptoren für Krafttraining wie die Anzahl Sätze, die Anzahl Wiederholungen und das verwendete Gewicht sind nicht ausreichend (Toigo & Boutellier, 2006) für die Dokumentation eines Krafttrainings, das wissenschaftlichen Ansprüchen genügen soll. Aus diesem Grund haben Toigo et al. die folgende erweiterte Liste von Deskriptoren vorgeschlagen (Siehe Abbildung 1).

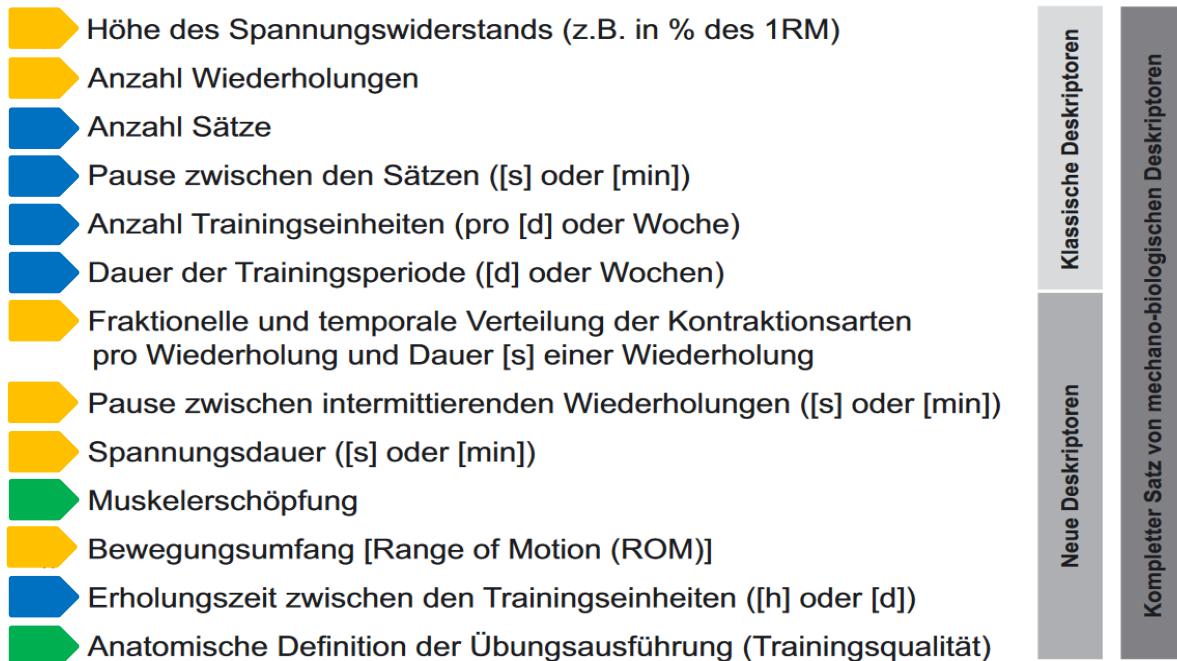


Abbildung 1 Deskriptoren zur wissenschaftlichen Beschreibung von Krafttraining (Toigo & Boutellier, 2006)

Aus technischer Sicht können die Deskriptoren in drei Kategorien eingeteilt werden. Die Erfassung der in Abbildung 1 blau gekennzeichneten Deskriptoren lässt sich durch das Vergleichen von Zeitstempeln oder Zählen realisieren. Die technische Umsetzung gestaltet sich einfach. Für die Bestimmung der orangen Deskriptoren werden Daten von Sensoren benötigt. Die zwei verbleibenden grünen Deskriptoren, Muskelerschöpfung und die anatomische Definition der Übungsausführung, sind schwieriger umzusetzen, da sie nicht mit vernünftigem Aufwand mit Sensoren erfasst werden können. Die Muskelerschöpfung könnte zum Beispiel über ein Dialogfenster vom Sportler erfragt werden.

Smart Devices

Zur Dokumentierung von Krafttraining mit elektronischen Geräten gibt es bereits einige Arbeiten. Dabei wurden hauptsächlich Smartphones oder Smartwatches eingesetzt. Nachfolgend werden einige dieser Arbeiten vorgestellt, die in diesem Kontext relevant sind.

Messmethode Smartphone

Eine wichtige Arbeit zur Aufzeichnung des Krafttrainings mit dem Smartphone stammt von Pernek et. al. (Pernek et al., 2013). In ihrer Arbeit haben sie automatisiert die Anzahl Sätze und Wiederholungen mit dem Smartphone bestimmt. Zusätzlich wurde auch die Spannungsduer ermittelt. Dabei wurde sowohl Freihanteltraining als auch das Training mit Kraftgeräten untersucht. Beim Freihanteltraining befand sich das Smartphone am Arm des Sportlers und beim Kraftgerätetraining wurde es auf dem Gewichtsblock platziert.

Die im Smartphone verbauten Beschleunigungssensoren messen in drei Achsen. In einem ersten Schritt wurde die Hauptachse der Bewegung ermittelt. Die Daten der anderen Achsen wurden nicht berücksichtigt. Die Abtastrate betrug 10 Hz und es wurde ein Filter verwendet.

Für jede Person und jedes Gerät wurde ein Kalibrationsschritt durchgeführt. Hierfür wurde am Anfang und am Ende der Wiederholung ein Audiosignal abgespielt. Die aufgezeichneten Daten des Kalibrationschrittes wurden anschliessend benutzt, um mit Hilfe von sogenanntem Dynamic Time Warping (DTW) die Wiederholungen zu identifizieren und zu zählen. Bei DTW wird die Zeitachse gedehnt oder gestaucht um zwei Kurven bestmöglich zu fitten. Dieser Ansatz beruht auf Mustererkennung in dem bei der Auswertung die Kalibrationskurve mit dem bei der Messung entstandenen Verlauf verglichen wird.

In Zusammenarbeit mit dem Doktoranden Claudio Viecelli vom Institut für molekulare Systembiologie der ETH Zürich wurde 2018 eine Vertiefungsarbeit mit dem Titel «Krafttrainingsauswertung mit dem Smartphone» durchgeführt. Im Zentrum der Arbeit stand die Bestimmung der von Toigo et al. beschriebenen Deskriptoren mit Smartphones. Es gelang zusätzlich zu den von Pernek et al. bestimmten Deskriptoren, noch weitere wie die temporale Verteilung der Kontraktionsarten, zu bestimmen. Ein Kalibrationsschritt war nicht nötig.

Es wurde eine Studie mit 22 Teilnehmern durchgeführt. Dabei wurden die mit zwei Smartphones redundant bestimmten Deskriptoren mit einer Videoanalyse, also dem Goldstandard, verglichen, um den dabei entstandenen Fehler zu bestimmen. Es entstand auch ein bisher unveröffentlichtes Paper (Viecelli et al., 2020).

Messmethode Smartwatches

Mit der App MiLift (Shen et al., 2018) wurde das Freihanteltraining mit Hilfe einer Smartwatch aufgezeichnet. Neben dem Detektieren von Aktivität und dem Zählen von Wiederholungen, konnte die App auch die Übung erkennen, welche gerade ausgeführt wurde. Die Abtastrate betrug dabei 50 Hz. Für die Trainingserkennung und das Zählen der Wiederholungen wurden Autokorrelation, Schwellenwerte und Peak-Detektion verwendet. Die Klassifikation der Trainingsübung wurde mit einer Support Vektor Maschine umgesetzt.

1.2.2 Bestehende Produkte

Für die digitale Erfassung von Krafttraining gibt es im Google Play Store und im iOS App Store unzählige Apps, bei denen die Sportler ihre Trainingsdaten selbst erfassen können. Der Fokus wird hier auf Produkte gelegt, die dem Sportler die Eingabe der Daten abnehmen.

FitTrack™

Die bisher am weitesten ausgereifte Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen kommt von der Firma FitTrack™(FitTrack, 2020). Es besteht aus einem Time-of-Flight-Sensor (TOF), einem Magnetfeldsensor, einem Board inklusive Antenne und einem Fach für die Batterien.

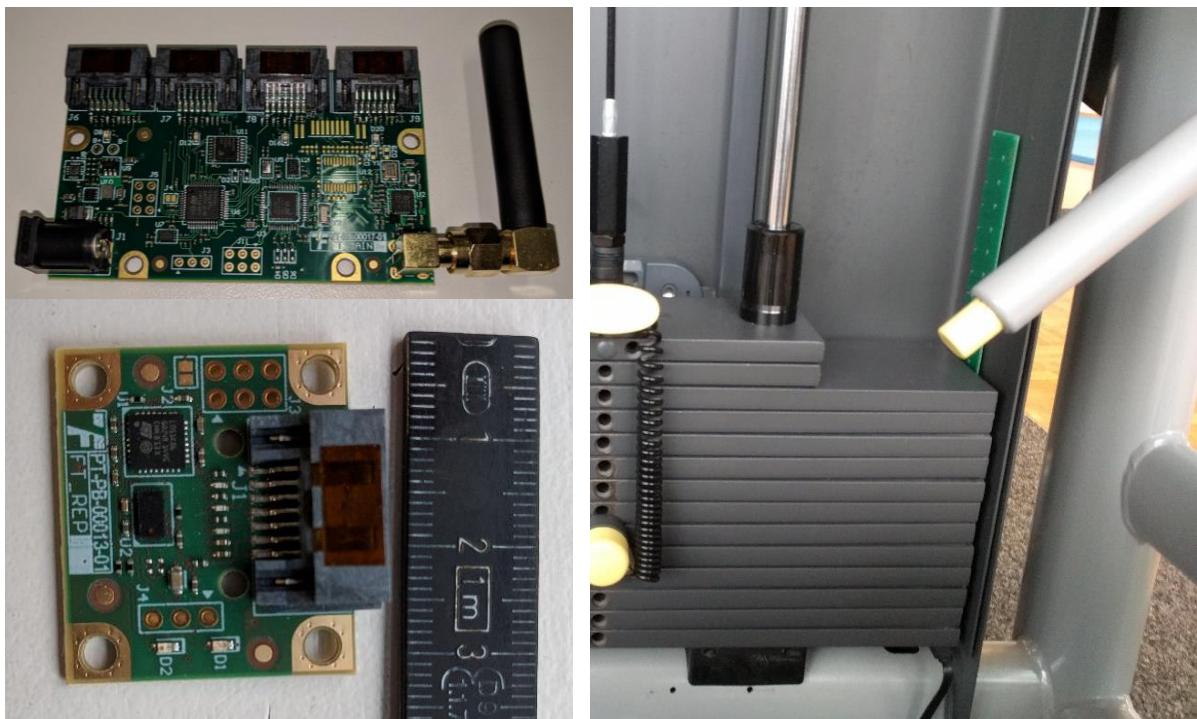


Abbildung 2 System von FitTrack™

Der TOF-Sensor für die Bestimmung der Position des Gewichts wird Abbildung 2 unten links gezeigt. Das Board ist in Abbildung 2 oben links ersichtlich. Es besitzt eine Antenne für die Sub-Gigahertzverbindung zum Gateway. Die Anzahl verwendeter Gewichtsscheiben wird mit einem Magnetfeldsensor realisiert (Siehe Abbildung 2 rechts unten). Alle Komponenten sind Nichtstandardkomponenten, welche speziell für FitTrack™ gefertigt wurden. Beim Prozessor handelt es sich um einen STM32L431. Dieser ist energieeffizient und gut für den Einsatz in eingebetteten Systemen geeignet.

Die Gehäuse und Halter sind mit einem 3D-Drucker angefertigt worden und werden mit Kabelbindern und doppelseitigem Klebeband an der Krafttrainingsmaschine befestigt. Die Verbindung der einzelnen Module geschieht mittels SATA-Kabeln.

In Abbildung 3 links wird die Hinterseite der Krafttrainingsmaschine gezeigt. Die Kabel werden mit Kabelbindern zusammengehalten. Die Energieversorgung erfolgt mit drei Batterien der Grösse D (1.5 Volt). Diese sind in einem Batterienfach (Siehe Abbildung 3 rechts) untergebracht. Der Anschluss ans Board wird mit einem Rundstecker realisiert.



Abbildung 3 Verkabelung und Batterienfach

Der Sportler kann sich einmalig am Registrierterminal registrieren (Abbildung 4 rechts). Dabei wird sein Account mit der auf der CampusCard hinterlegten Kartennummer verknüpft. Danach kann er sich beim Training mit seiner CampusCard am RFID-Leser (Siehe Abbildung 4 links) des Systems an- und abmelden.



Abbildung 4 Kartenleser und Registrierterminal

Beim An- und Abmelden mit einer RFID-Karte sowie nach jeder Wiederholung wird standardmäßig eine MQTT-Nachricht an das Gateway verschickt. Zusätzlich werden die Positionsdaten des Gewichts mit einer Abtastfrequenz von 10 Hz verschickt.

Als Gateway wird ein Raspberry eingesetzt. Es empfängt die Pakete, welche über das Sub-Gigahertz-Netz verschickt werden und lädt die Daten in die Cloud. Die Sportler können ihre Trainingsdaten danach per App von der Cloud abrufen.

SmartPin und Kinastic™

Einen anderen Ansatz hat Kinastic™ mit dem SmartPin gewählt. Der SmartPin ersetzt den normalen Pin, welcher zum Einstellen des Gewichts verwendet wird. Je nach Ausführung misst er das Trainingsgewicht und die wirkenden Beschleunigungen. Im Pin sind eine Batterie und ein Bluetooth-Modem verbaut. Die gemessenen Daten werden per Bluetooth auf das Smartphone übertragen.

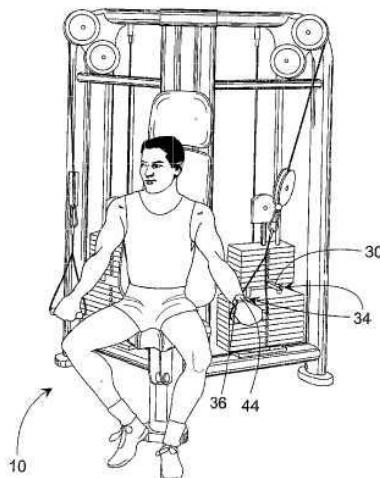


Abbildung 5 Bild aus dem Patent

Der SmartPin ist patentiert (Heikki, 2009) und der Patentbeschrieb lautet wie folgt:

"The invention relates to a method for measuring athletic performance carried out with a weight stack unit. The weight stack unit (10) includes weights (12) and a lifting bar (14), to which desired amount of the weights (12) is connected using a pin (16). In addition, the pin (16) stress is measured for determining the athletic performance. The invention also relates to a corresponding system and measuring device and to a weight stack unit."

Abbildung 5 zeigt das Bild aus der Patenbeschreibung.

Die Kinastic™ AG (kinastic, 2020) hat ihren Sitz in Winterthur, wurde von zwei zhaw-Absolventen gegründet und wird von ihnen geleitet.

Das Geschäftsmodell von Kinastic™ ist, Sportler durch individuelles Coaching zu unterstützen und Fitnessstudios grossflächig mit SmartPins auszustatten. Mit der Unterstützung von zühlke wurde ein eigener SmartPin entwickelt (Siehe Abbildung 6).

Kinastic™ demonstriert, dass es möglich ist das Training mit Beschleunigungssensoren aufzuzeichnen. Ein Vorteil ihrer Lösung ist, dass sie das verwendete Gewicht ermitteln können.



Abbildung 6 SmartPin von Kinastic™

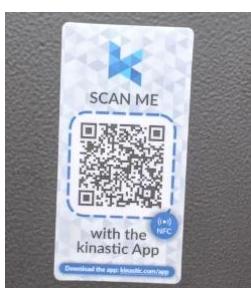


Abbildung 7 Sticker

Aktuell setzt Kinastic™ den SmartPin nicht ein und klebt stattdessen Sticker mit einem QR-Code und einem NFC-Chip an die Krafttrainingsmaschinen (Siehe Abbildung 7). Mit ihrer App kann der QR-Code ausgelesen werden. Die Sportler müssen anschliessend die Anzahl Sätze und Wiederholungen selbst in die App eintragen. Weil das sehr mühsam ist, ist der Nutzen der App für den Sportler relativ klein.

eGYM™

Die Firma eGYM™ (eGym, 2020) hat 18 smarte Krafttrainingsmaschinen im Angebot. Diese sind vollelektrisch, verfügen jeweils über einen Touchscreen (Siehe Abbildung 8) und sind in ihre Plattform eingebunden. Die hinterlegten persönlichen Geräteeinstellungen und Gewichte werden von der Maschine selbst eingestellt (Siehe Abbildung 8 rechts). Der Trainingswiderstand kann dynamisch geregelt werden.



Abbildung 8 eGYM™ Trainingsmaschine (eGym, 2020)

Neben der Trainingserfassung und einem digitalen Trainingsplan verfügen diese Maschinen auch über eine Motivationsfunktion. Über eine App können Sportler und Trainer auf die Trainingsdaten zugreifen (Siehe Abbildung 9 links). eGYM™ präsentiert Sportlern zudem während dem Training ihre Trainingskurve und gibt ihnen so ein Live-Feedback. Durch Gamification-Elemente können Sportler während dem Training Punkte sammeln und werden zusätzlich motiviert (Siehe Abbildung 9 rechts).

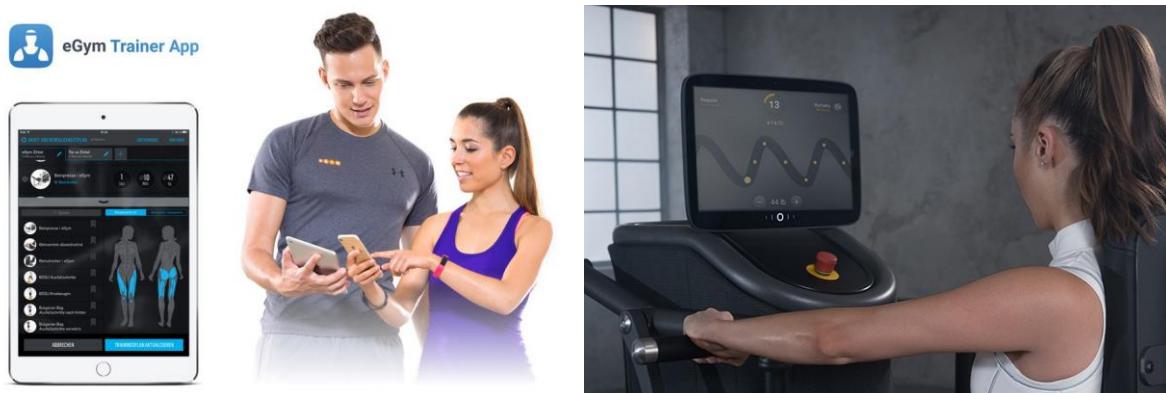


Abbildung 9 eGYM™ App

eGYM™ demonstriert eindrücklich was erreicht werden kann, wenn Krafttrainingsmaschinen von Anfang an mit dem Ziel der Digitalisierung des Kraftraums zu erreichen, gebaut werden.

Es ist anzunehmen, dass die Krafttrainingsmaschinen von eGYM™ im Vergleich zu konventionellen Maschinen deutlich teurer sind und viele Fitnesszentrenbetreiber in naher Zukunft keine neuen Geräte anschaffen möchten.

1.3 Diese Arbeit

Wie in Kapitel 1.1 dargelegt wurde, kann Krafttraining einen positiven Einfluss auf die Gesundheit haben. In der akademischen Forschung (Kapitel 1.2.1) gibt es bisher viele Lösungen für die Dokumentation von Training mit dem Smartphone. Die existierenden Apps können allerdings nicht alle Deskriptoren, wie zum Beispiel den Bewegungsumfang, bestimmen. Diese sind aus wissenschaftlicher Sicht allerdings für die Beschreibung von Krafttraining von hoher Wichtigkeit. Bei der Dokumentation von Trainings durch geeignete, fest am Gerät installierte Hardware, gibt es in eine Lücke zwischen dem was verfügbar ist und den wissenschaftlichen Anforderungen an ein solches System. Die bestehenden Produkte (Kapitel 1.2.2) sind entweder teuer oder aufgrund von blockierenden Patenten noch nicht auf dem Markt verfügbar. Das zu entwickelnde Retrofitsystem soll kostengünstig und Open-Source sein. Durch das Retrofitsystem soll die künftige Forschung in diesem Bereich erleichtert werden und es soll möglich werden mit kleinem Aufwand grosse Datensets zu erfassen. Solche Sets erlauben ein datengetriebenes Vorgehen.

Fragestellungen

Die Arbeit ist in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil befasst sich mit der Entwicklung eines Retrofitsystems, welches das Training dokumentiert, während es beim zweiten Teil um die Entwicklung eines Trainingsassistenten geht, der den Sportler während dem Training durch Live-Feedback unterstützt.

Zusätzlich zu den Hauptfragen werden auch noch Nebenfragen aufgegriffen und beantwortet.

Retrofitsystem

Hauptfrage: Wie ist ein Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen zu konstruieren, welches einen Grossteil der von Toigo et al. beschriebenen Deskriptoren erfasst?

1. Nebenfrage: Wie sind die Retrofitsysteme aus Sicht der Interessensgruppen zu beurteilen?
2. Nebenfrage: Was leistet ein solches System?
3. Nebenfrage: Welche Limitierungen bleiben auch mit einem Retrofitsystem bestehen?

Trainingsassistent

Hauptfrage: Wie kann ein Assistent für Krafttraining umgesetzt werden?

1. Nebenfrage: Was sind die Anforderungen an einen Trainingsassistenten aus der Sicht eines Sportlers und wie kann ihnen bestmöglich entsprochen werden?
2. Nebenfrage: Was kann ein solcher Trainingsassistent?
3. Nebenfrage: Was ist weiterhin nicht möglich?

2 Retrofitsystem

Dieses Kapitel widmet sich der Frage wie ein Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen aussieht.

2.1 Technische Aspekte

Die Wahl der eingesetzten Komponenten und Technologien hat einen grossen Einfluss auf das Verhalten des Retrofitsystems. Aus technischer Sicht hat ein Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen die folgenden Teilaufgaben:

- Bestimmen der Position der Gewichte als Funktion der Zeit
- Erkennen der Anzahl verwendeter Gewichtsscheiben
- Eindeutige Identifikation des Sportlers
- Verarbeiten der gemessenen Daten
- Übertragung der gemessenen Daten
- Speichern, verarbeiten und aufbereiten der Daten

Die Kernfunktionen können sehr unterschiedlich umgesetzt werden (Siehe Tabelle 1).

Kernfunktionen	FitTrack™	RetrofitSystem
Bestimmen der Position	Time of Flight Sensor	Hall- oder TOF-Sensoren
Zählen der Gewichtsscheiben	Magnetfeldsensor	Hallsensoren
User-Identifikation	RFID-Karte	RFID-Karte oder Bluetooth
Datenübertragung	Sub-Gigahertz	2,4 GHz Wifi
Befestigung	Klebeband	Magnete

Tabelle 1 Kernfunktionen

2.1.1 Einbauraum

In den Krafträumen des ASVZ werden primär Krafttrainingsmaschinen der Firma Technogym™ eingesetzt. Die in Abbildung 10 gezeigte Maschine steht im Kraftraum Campus Irchel. Die Gewichtsscheiben sind einheitlich 90 Millimeter breit und der maximale Hubweg beträgt 50 Zentimeter. Der Gewichtteil ist bei allen Maschinen von Technogym™ gleich ausgeführt.



Abbildung 10 Typische Krafttrainingsmaschine von Technogym™

Die Seitenwände, die Hinterwand und die Gewichtsscheiben bestehen aus Stahl und es können Magnete angebracht werden.



Abbildung 11 Zwischenpalt Gewicht zu Wand

Der Spalt zwischen den Gewichtsscheiben und der Seitenwand ist etwa 10 bis 15 Millimetern breit. Bei einigen Geräten ist zusätzlich ein Schutz angebracht (Siehe Abbildung 11). Dieser soll verhindern, dass der Sportler seine Finger durch hineinfassen verletzt und kann entfernt werden.

Als Einbauräume für das Zählen der Gewichtsscheiben bieten sich der Spalt zwischen dem Gewichtsstapel und der rechten Seitenwand oder der Spalt zur Rückwand hin an. Handelt es sich um eine Krafttrainingsmaschine mit unterschiedlich grossen Gewichtsscheiben, muss das System zwingend an der Rückwand angebracht werden. Für die Unterbringung der restlichen Teile gibt es an der rechten Seitenwand reichlich Platz.

2.1.2 Hallsensoren

Hallsensoren sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie werden unter anderem bei Velo-Computern, Haussicherheitssystemen, Backofen und Waschmaschinen eingesetzt (allegro, 2020). Ein Grund warum Hallsensoren so verbreitet sind ist, weil sie äusserst robust sind. Hallsensoren haben in der Regel eine hohe Toleranz gegenüber physikalischen und thermischen Belastungen. Darüber hinaus können sie sehr günstig gefertigt werden, sind zuverlässig, energieeffizient und erlauben eine kompakte Bauweise.

All diese Eigenschaften machen Hallsensoren zu interessanten Kandidaten für Sensoren um in einem rauen Umfeld, wie einem Fitnesszentrum, in einem Retrofitsystem eingesetzt zu werden. Soll das System mit Akkus betrieben werden, ist die Energieeffizienz zudem von hoher Wichtigkeit und spricht für den Einsatz von Hallsensoren.

Funktionsweise

Hallsensoren heißen so, weil sie den Hall-Effekt ausnutzen, um Magnetfelder zu messen. Dieser wurde erstmals 1879 von Edwin Hall in seiner Promotionsarbeit erwähnt.

Der Hall-Effekt beschreibt die Spannung in einem stromdurchflossenen Leiter, welche auftritt, wenn sich der Leiter in einem statischen Magnetfeld befindet.

Die Hallspannung nimmt senkrecht zur Stromfluss- und Magnetfeldrichtung am Leiter ab. In Abbildung 12 wird der Hall-Effekt in einer Skizze dargestellt.

Die Hallspannung kann wie folgt berechnet werden:

$$U_H = A_H \frac{IB}{d}$$

Formel 1 Hallspannung

Dabei steht I für die Stromstärke, B für die magnetische Flussdichte und d für die Dicke der Probe. Der Hall-Koeffizient A_H ist eine Materialkonstante.

Umsetzung

Bei den in diesem Projekt eingesetzten Hallsensoren handelt es sich um den Typ A1120 der Firma Allegro. In Abbildung 13 wird ein Blockdiagramm des Sensors gezeigt. Der Sensor besitzt 3 Pins. In der Gegenwart eines Südpols mit ausreichender Magnetfeldstärke wird der Ausgang aus- und durch das Entfernen des Pols eingeschaltet.

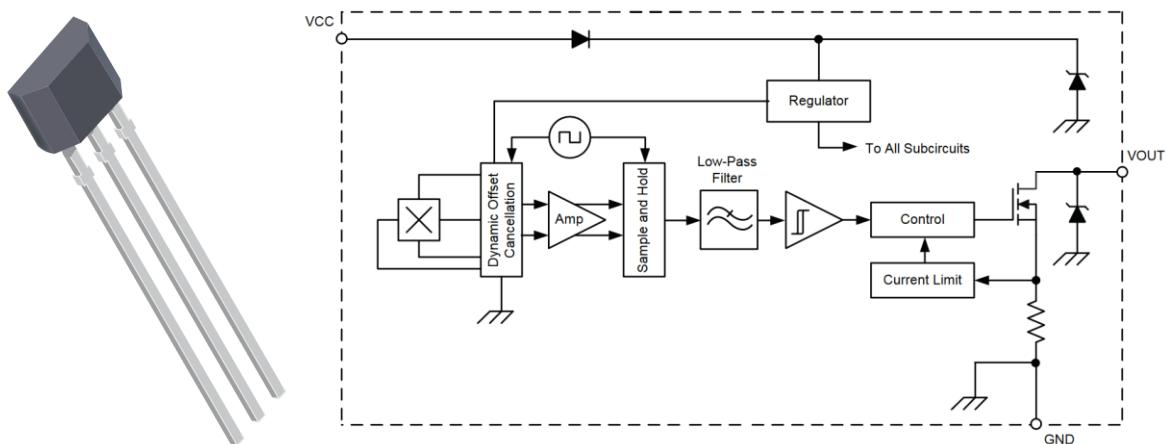


Abbildung 13 Hallsensor Typ A1120 (A1120, 2020)

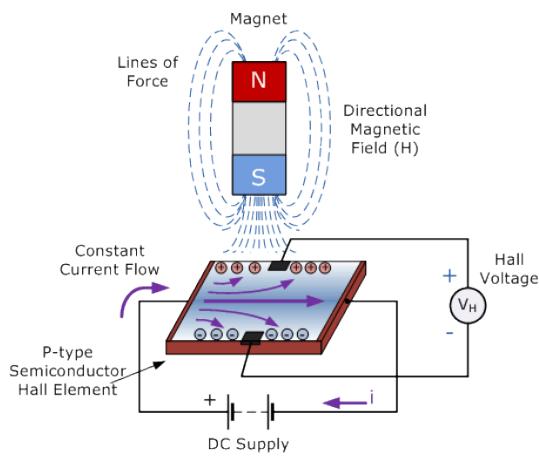


Abbildung 12 Hall-Effekt (Electronics tutorials, 2013)

Die Hallsensoren werden jeweils zusammen mit einem Widerstand in einer Pull-Up Konfiguration an die GPIO-Pins angeschlossen (Siehe Abbildung 14). Der Widerstand limitiert den fliessenden elektrischen Strom. In diesem Projekt werden 10k Ohm Widerstände verwendet.

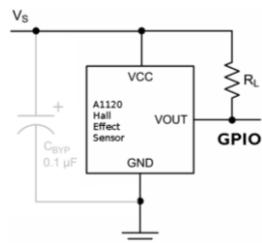


Abbildung 14 Schaltplan (raspberrypi-spy, 2020)

Wird ein Magnet an einem Hallsensor vorbeigezogen, ändert sich die Spannung am GPIO-Pin von der Speise- (3.3 V) auf Grundspannung (0 V). Der Spannungsverlauf kann mit einem Oszilloskop gemessen und dargestellt werden (Siehe Abbildung 15). In diesem Beispiel werden drei Magnete mit einem Abstand von 3 cm an einem Sensor vorbeigezogen.

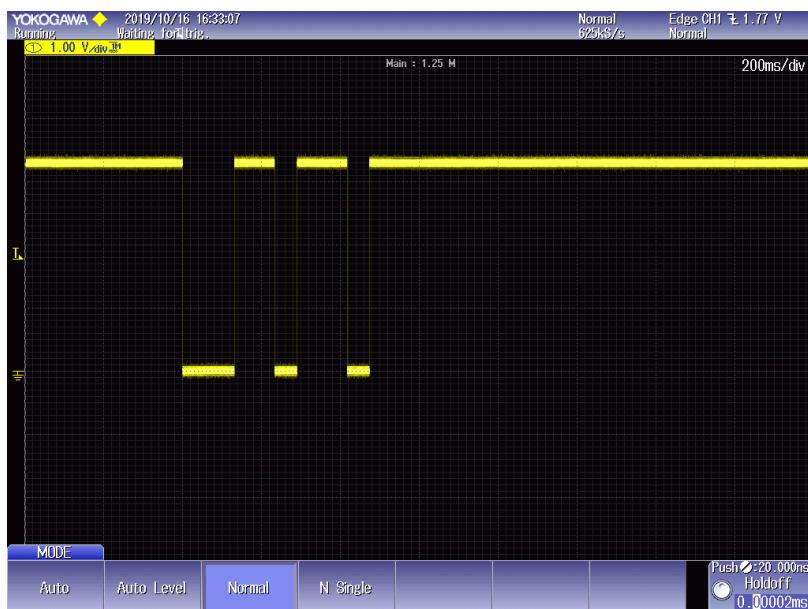


Abbildung 15 Spannungsverlauf Oszilloskop

Die steigenden Flanken der Spannung werden an den GPIO-Pins registriert.

Je nach Ausrichtung des Magnets relativ zum Hallsensor wird zwischen «Slide-by actuation» und «Head-on Hall actuation» unterschieden (Siehe Abbildung 16).

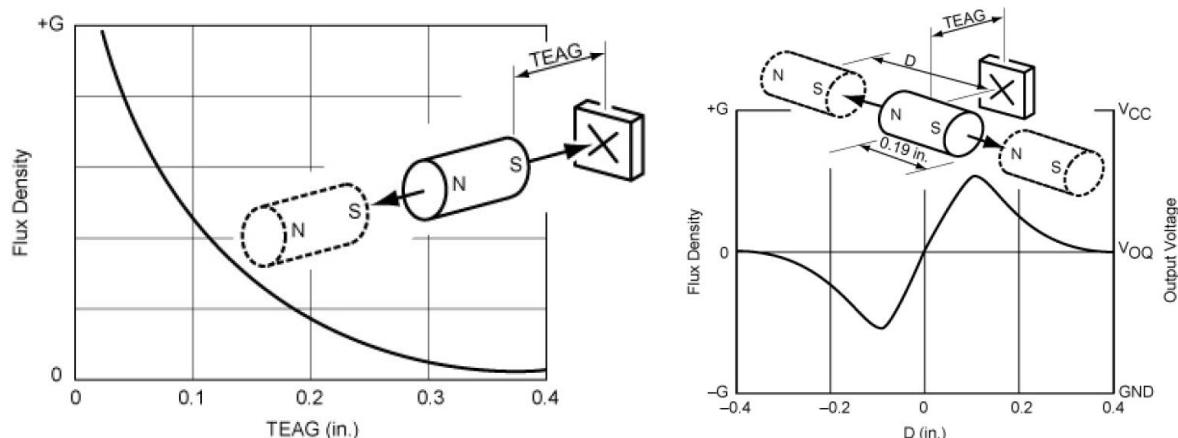


Abbildung 16 Ausrichtung Hallsensor (allegro, 2020)

Verzögerung von Hallsensoren

Wie in Abbildung 15 ersichtlich dauert es eine Weile bis der Hallsensor die Spannung am GPIO-Pin von der Grund- (0 V) zurück zur Speisespannung (3.3 V) schaltet. Werden mehrere Magnete in kurzem zeitlichem Abstand über denselben Sensor gezogen, kann es sein, dass er nur den ersten Magnet registriert. Das liegt daran, dass innerhalb der gegebenen Zeit der Schwellenwert für das Umschalten im Sensor nicht unterschritten wurde.

Da die Geschwindigkeit durch den Sportler vorgegeben wird, besteht die einzige Möglichkeit das Problem zu umgehen darin, den Abstand der Magnete zueinander zu vergrössern.

Energieeffizienz Hallsensoren

Hallsensoren haben einen kleinen Stromverbrauch und eignen sich darum sehr gut für Systeme, die nicht am Stromnetz hängen und mit einer Batterieladung möglichst lange auskommen müssen. Mit Hilfe des Datenblattes kann die aufgenommene Leistung eines Hallsensors berechnet werden.

$$P_D = V_{CC} * I_{CC}$$
$$P_D = 3.3 \text{ V} * 2.5 \text{ mA} = 8.25 \text{ mW}$$

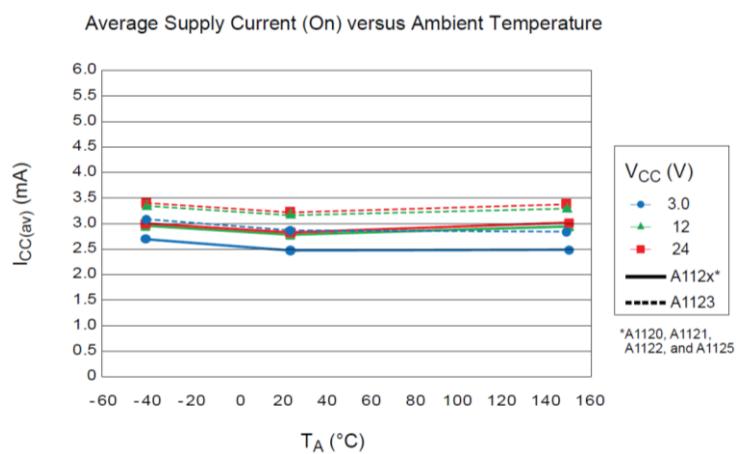


Abbildung 17 Stromkurve (A1120, 2020)

2.1.3 Bestimmen der Position

Das Messen der Position der Gewichte als Funktion der Zeit erlaubt die Bestimmung wichtiger mechano-biologischer Deskriptoren wie des Bewegungsumfangs oder der Spannungs-dauern einer Wiederholung. Die Spannungsdauer ist die Zeit in der die Muskeln unter Spannung stehen. Die hierfür eingesetzten Sensoren unterscheiden sich zunächst durch die Art des zu Grunde liegenden Messprinzips. Weiter wird zwischen äquidistanten und nicht äqui-distanten Messserien unterschieden.

TOF-Sensoren

Ein Beispiel eines typischen Time of Flight (TOF) Sensors ist der Adafruit VL53L0X. Dieser Sensor misst über eine Distanz von 0.05 bis 1.2 Metern und wird über I₂C angeschlossen. Der Sensor funktioniert, in dem mit einer Laserdiode ein für das Auge unsichtbarer Strahl mit einer Wellenlänge von 940 Nanometer erzeugt wird. Dieser wird von der Oberfläche reflek-tiert, mit eingebauten physikalischen Filtern gefiltert und schliesslich wieder vom Sensor ge-messen. Die Genauigkeit der bestimmten Distanz ist abhängig von der Umgebung (im Freien

oder in Räumen), der Farbe der Reflektorfläche und dem Messmodus (Siehe Abbildung 18). Die Abstrahrate ist einstellbar und beträgt maximal 30 Hz. Je höher sie gewählt wird, desto ungenauer wird die Messung der Distanz.



Target reflectance level (Full FOV)	Indoor (no infrared)			Outdoor		
	Distance	33ms	66ms	Distance	33ms	66ms
White Target (88%)	at 120cm	4%	3%	at 60cm	7%	6%
Grey Target (17%)	at 70cm	7%	6%	at 40cm	12%	9%

Abbildung 18 Adafruit VL53L0X (Adafruit, 2020)

Ein Beispiel für eine Distanzmessung mit dem Adafruit TOF-Sensor wird in Abbildung 19 gezeigt. Dabei wurde die y-Achse umgekehrt und der niedrigste Wert auf null gesetzt. Als Abtastfrequenz wurde 10 Hz gewählt.

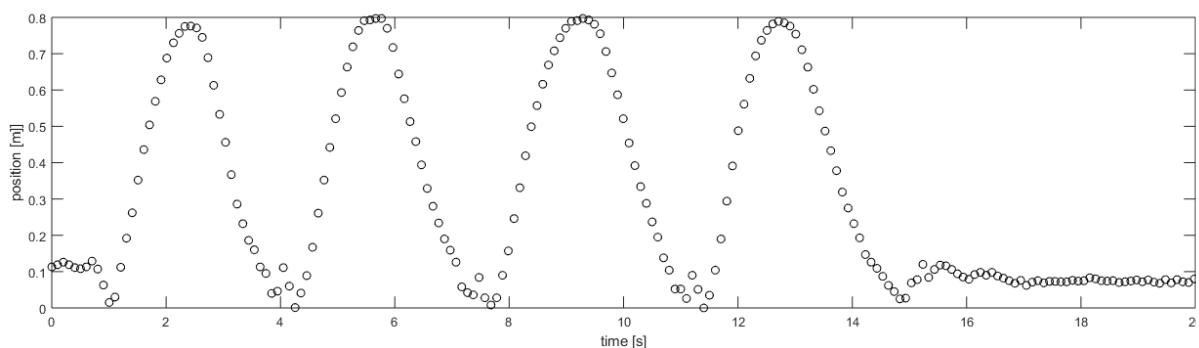


Abbildung 19 Positionsverlauf mit TOF gemessen

Zu Beginn und am Ende der Messung stand der Wagen auf dem Teststand still. Der zurückgelegte Weg war mit 80 Zentimetern sehr gross gewählt. Am Tiefpunkt kam es zwischen den Wiederholungen zu Ausreissern. Die Reflektorfläche war dabei die Metalloberfläche des Teststands.

Die maximale Messdistanz des Sensors wird in Abbildung 20 gezeigt.

Target reflectance level (full FOV)	Conditions	Indoor (2)	Outdoor overcast (2)
White target (88%)	Typical	200cm+ (1)	80cm
	Minimum	120cm	60cm
Grey target (17%)	Typical	80cm	50cm
	Minimum	70cm	40cm

Abbildung 20 Maximale Messdistanz mit 33 ms Zeitbudget (Adafruit, 2020)

Um den Fehler des Adafruit VL53L0X zu bestimmen wurden auf dem Teststand Messungen gemacht (Siehe Tabelle 2). Es wurde der gerundete Wert von fünf Messungen verwendet. Es zeigte sich, dass die gemessenen Werte sehr stark von der Reflektorfläche abhängig sind. Die Messungen wurden in einem beleuchteten Raum gemacht.

Position [cm]	10	20	30	40	50	60	70	80	median
Kunststoff schwarz	10.6	20.7	29.5	34.6	39.6	41.7	50.0	40.0	
Abweichung	0.6	0.7	0.5	5.4	10.4	18.3	20.0	40.0	7.9
Kunststoff weiss	13.1	22.6	31.6	39.0	44.2	49.7	55.6	57.1	
Abweichung	3.1	2.6	1.6	1.0	5.8	10.3	14.4	22.9	4.45
Metall glänzend	11.4	21.7	31.0	40.0	48.2	58.8	64.2	67.0	
Abweichung	1.4	1.7	1.0	0.0	1.8	1.2	5.8	13.0	1.55
Reflektor weiss	13.3	22.0	31.1	41.0	50.3	60.5	70.7	80.5	
Abweichung	3.3	2.0	1.1	1.0	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85
Reflektor rot	13.4	21.7	31.9	40.4	50.3	60.3	69.9	81.0	
Abweichung	3.4	1.7	1.9	0.4	0.3	0.3	0.1	1.0	0.7

Tabelle 2 Messungen mit Adafruit VL53L0X

Die gemessenen Werte in Tabelle 2 zeigen, dass beim Einsetzen eines TOF-Sensors zwingend Reflektorfolie verwendet werden muss, um verlässliche Messwerte zu erhalten. Die Farbe der Reflektorfolie scheint dabei nicht wichtig zu sein.

Infrarot-Sensoren

Für die Distanzmessung werden bei IoT-Projekten häufig Infrarotsensoren wie der GP2Y0A02YK0F von Sharp eingesetzt. Dieser hat eine Messrange von 0.2 bis 1.5 Metern und wird mit einer Speisespannung von 5 Volt betrieben. Im Betrieb nimmt er einen Strom von 33 Milliampere auf und die Leistung beträgt somit 0.165 Watt. In Abbildung 21 links ist die Diode und der Sensor sehr gut ersichtlich. Die Messkurve des Sensors ist nichtlinear und wird in Abbildung 21 rechts gezeigt.

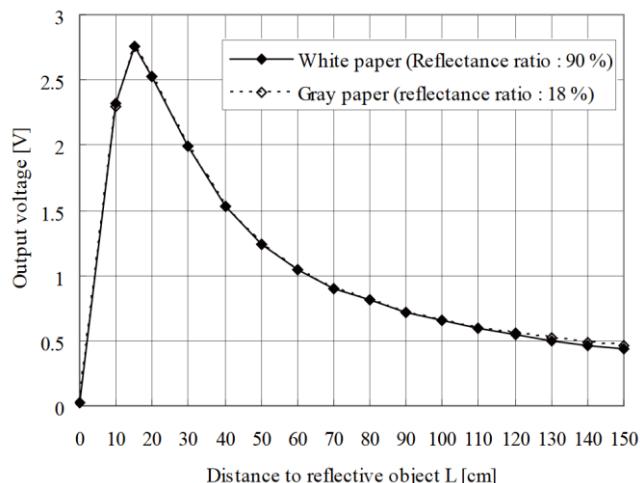


Abbildung 21 GP2Y0A02YK0F (Datasheet Sharp, 2020)

Ein Nachteil von optischen Distanzmesssensoren ist, dass der Sportler während dem Training in den Messstrahl fassen und somit die Messung der Position des Gewichts verfälschen kann.

Absolute Messung mit Hallsensoren

Aus den in Kapitel 2.1.2 genannten Gründen sind Hallsensoren interessante Kandidaten, um im Kraftraum eingesetzt zu werden. Ein weiterer Vorteil von Hallsensoren ist, dass nur gemessen wird, wenn das Gewicht bewegt wird. Steht das Gewicht still, messen TOF- und Infrarot-Sensoren weiter während durch Hallsensoren keine Daten erhoben werden. Die Daten, die beim Stillstand des Gewichts erhoben werden, bringen keinen zusätzlichen Informationsgewinn und sind darum redundant. Durch den Einsatz von Hallsensoren wird die Menge der erfassten Daten verringert und es gibt einen Komprimierungseffekt.

Für die Bestimmung des Positionsverlaufs werden Hallsensoren, wie in Abbildung 22 gezeigt, in einer Reihe angeordnet. An der obersten Gewichtsscheibe wird ein starker Magnet befestigt. Wird nun das Gewicht bewegt, wird das Magnetfeld des Magnets durch die Hallsensoren registriert und die Position kann ermittelt werden.

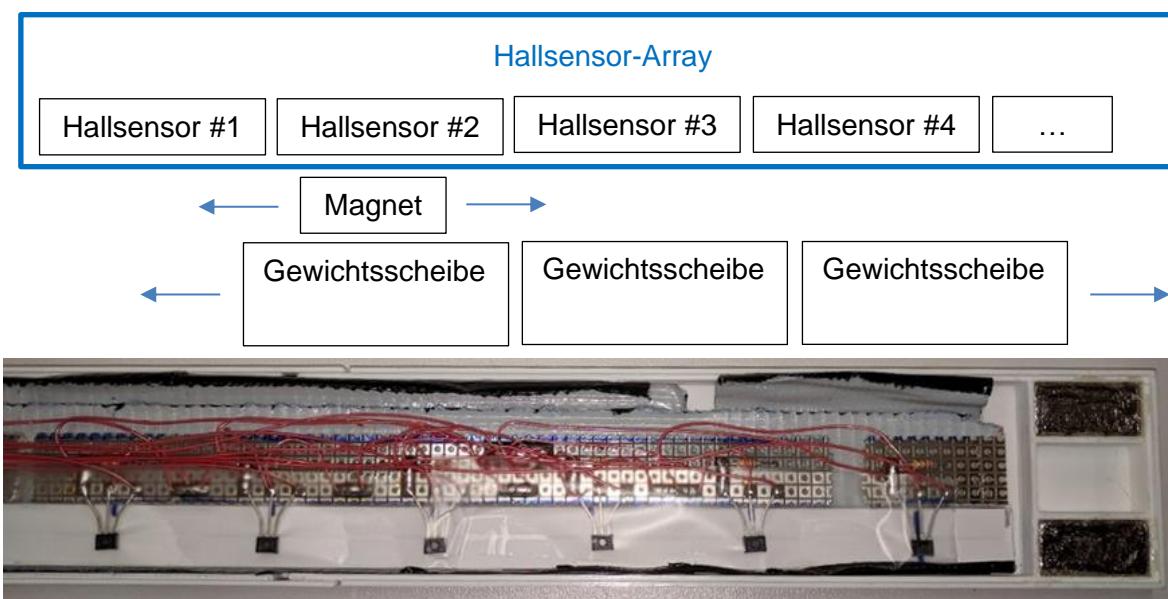


Abbildung 22 Skizze und Prototyp

Ein Beispiel für einen Positionsverlauf wird in Abbildung 23 gezeigt. Da der Abstand zwischen den Sensoren bekannt ist, kann die Position auch gleich in Metern berechnet werden.

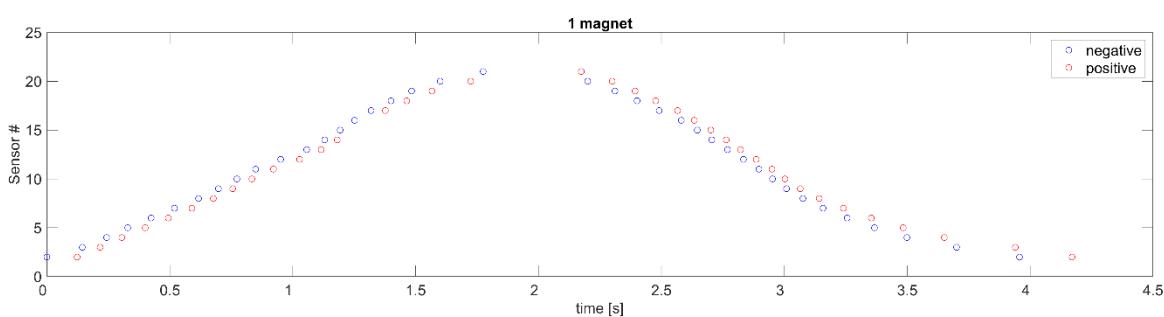


Abbildung 23 Positionsverlauf

Bei dieser Art der Bestimmung der Position handelt es sich um eine absolute Messmethode. Das liegt daran, dass die Sensoren nummeriert und ihre Position bekannt ist. Die Messreihe besteht aus Datenpaaren von Sensornummern und Zeitwerten.

Inkrementelle Messung mit Hallsensoren

Hallsensoren können auch verwendet werden um inkrementell zu messen. Die Anordnung von Sensoren und Magneten ist dabei invertiert (Siehe Abbildung 24).

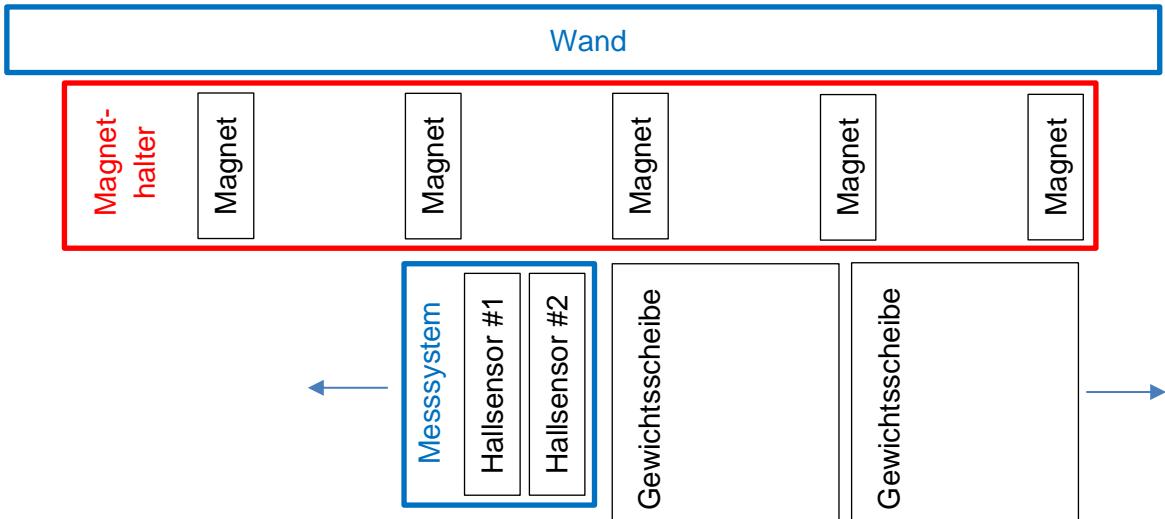


Abbildung 24 Inkrementelle Messmethode

Wird das Gewicht bewegt, werden die Hallsensoren an einem Magnet-Array vorbeigezogen. In dem die Hallsensoren mit einem kleinen Abstand übereinander angebracht werden, kann die Richtung der Bewegung ermittelt werden. Wird zuerst der obere und kurz darauf der untere ausgelöst, bewegt sich das Gewicht nach oben. Das System kennt dadurch bei jedem Messpunkt die Richtung der Bewegung. Die absolute Position des Gewichts ist allerdings nicht bekannt. Durch Abzählen der Bewegungen nach oben und unten kann die relative Position zur Anfangsposition bestimmt werden. Wird aus irgendeinem Grund ein Magnet nicht registriert, sind alle folgenden Positionen falsch. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Verhalten auftritt kann durch eine redundante Ausführung der Hallsensoren reduziert, aber nie ganz ausgeschlossen werden.

2.1.4 Zählen der Gewichtsscheiben

Damit das während dem Training benutzte Gewicht richtig erfasst werden kann, muss die Anzahl verwendeter Gewichtsscheiben bestimmt werden. Dafür kommen verschiedene Ansätze in Frage.

Kombiverfahren

Der erste Ansatz für das Zählen der Gewichtsscheiben benutzt ein eindimensionales Hallssensor-Array wie es in Kapitel 2.1.3 vorgestellt wurde. Anstatt dass nur ein Magnet an der obersten Gewichtsscheibe angebracht wird wie in Abbildung 22, wird an jeder Gewichtsscheibe ein Magnet befestigt. Ein Beispiel für einen so entstehenden zeitlichen Verlauf ist in Abbildung 25 ersichtlich.

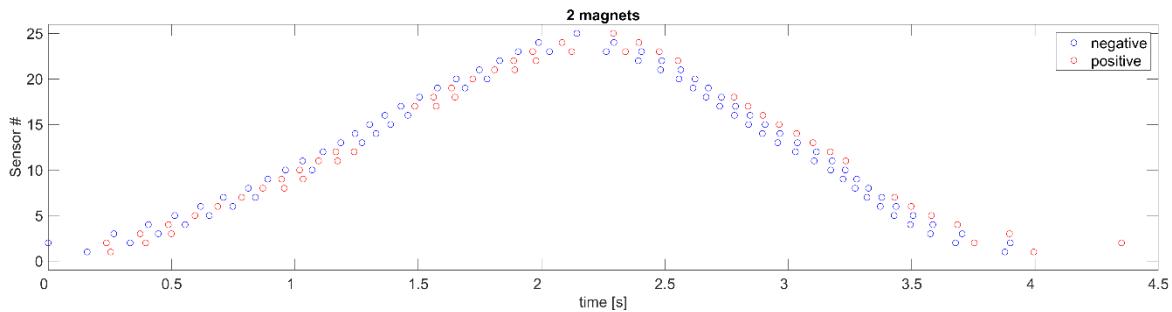


Abbildung 25 Zeitlicher Verlauf mit zwei Magneten

Da an jedem Hallsensor zwei Magnete mit je einem Nord- und einem Südpol vorbeigezogen werden, werden vier Punkte erwartet. Es zeigte sich allerdings, dass mit einer zunehmenden Anzahl von Magneten das Bestimmen der Anzahl verwendeter Gewichtsscheiben schwieriger wird, weil häufig Magnete von den Sensoren nicht zuverlässig registriert werden.

Das Problem der nicht detektierten Magnete kann gelöst werden, in dem der Abstand zwischen den Magneten vergrößert und anstatt einer eindimensionalen Anordnung der Hallsensoren auf Parallelisierung (mehrere Streifen) gesetzt wird.

Bewegte Gewichtsscheiben zählen

Dieser Ansatz baut auf dem vorangegangenen auf und verbessert ihn. Damit der Abstand zwischen den Magneten möglichst gross ausfällt, werden sie in einem Treppenmuster angeordnet (Siehe Abbildung 26). Die Hallsensoren werden zudem aufgestellt, anstatt sie flach zu verbauen, was zu einer besseren Detektionsrate führt.

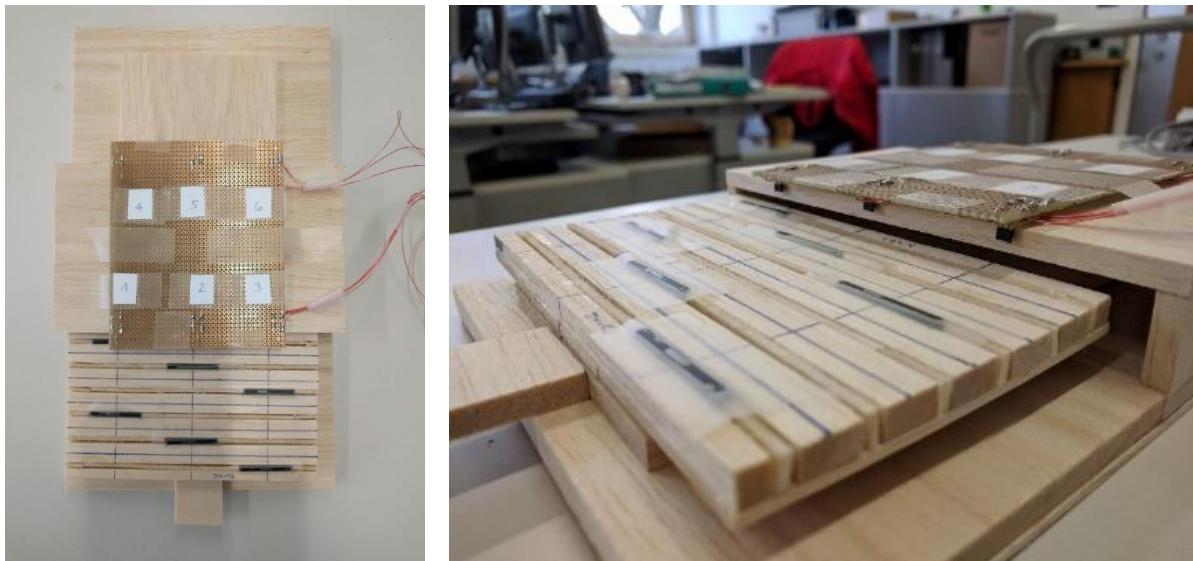


Abbildung 26 Teststand für Gewichtsscheiben

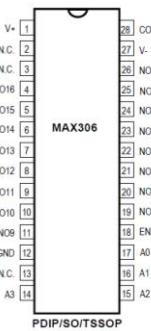
Um diesen Ansatz zu testen wurde ein kleiner Teststand aus Balsaholz gebaut. Die Gewichtsscheiben einer Technogym-Krafttrainingsmaschine sind typischerweise 90 Millimeter breit und 15 Millimeter hoch. Werden 30 Millimeter breite Magnete verwendet können folglich drei Magnetreihen realisiert werden.

Bei einem Mindestweg des Gewichts von 90 Millimetern (sechsmal 15 mm) können somit mit drei Hallsensoren sechs Gewichtsscheiben gezählt werden. Die Anzahl benötigter Sensoren halbiert sich im Vergleich zum Ansatz, der die Anzahl ruhender Magnete zählt. Es ist sehr wichtig zu wissen wann gemessen wird und wo sich das Gewicht gerade befindet. Das Auswerten der Daten fällt dadurch etwas komplizierter aus. Da die Auswertung zeitkritisch ist, macht es hier wenig Sinn einen Multiplexer zu verwenden.

Ruhende Gewichtsscheiben zählen

Die nicht benutzten Gewichtsscheiben bleiben während dem Training auf dem Gewichtsblock liegen. Wird an jeder Gewichtsscheibe ein Magnet befestigt und gibt es für jede Gewichtsscheibe einen Hallsensor, so kann die Anzahl benutzter Gewichte sehr einfach über die Anzahl nicht benutzter Gewichtsscheiben bestimmt werden. Da sich die Anzahl benutzter Gewichtsscheiben während dem Absolvieren eines Trainingsatzes nicht verändert, reicht es mit einer sehr groben Zeitauflösung (zum Beispiel alle 0.5 Sekunden) eine Messung zu machen. Der offensichtliche Nachteil einer solchen Lösung ist, dass sehr viele Hallsensoren und somit auch viele GPIO-Pins benötigt werden. Das kann durch den Einsatz von einem Multiplexer gelöst werden. Der Multiplexer erlaubt das Abrufen des aktuellen Zustands eines einzelnen Kanals. Über die Eingangspins des Multiplexers kann ein gewünschter Kanal für den Ausgangspin ausgewählt werden. Nun kann über alle Eingänge des Multiplexers iteriert und somit der Zustand der Sensoren festgestellt werden.

Abbildung 27 zeigt ein Foto des eingesetzten Multiplexers (MAX306CPI) sowie die Wahrheitstabelle und eine Skizze der Pinbelegung.



A3	A2	A1	A0	EN	ON Switch
X	X	X	X	0	None
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	2
0	0	1	0	1	3
0	0	1	1	1	4
0	1	0	0	1	5
0	1	0	1	1	6
0	1	1	0	1	7
0	1	1	1	1	8
1	0	0	0	1	9
1	0	0	1	1	10
1	0	1	0	1	11
1	1	0	1	1	12
1	1	0	0	1	13
1	1	0	1	1	14
1	1	1	0	1	15
1	1	1	1	1	16

Abbildung 27 MAX306CPI (MAX306, 2020)

Der Multiplexer MAX306CPI benötigt eine Speisespannung von fünf Volt, ist gross und mit einem Preis von neun Franken relativ teuer.

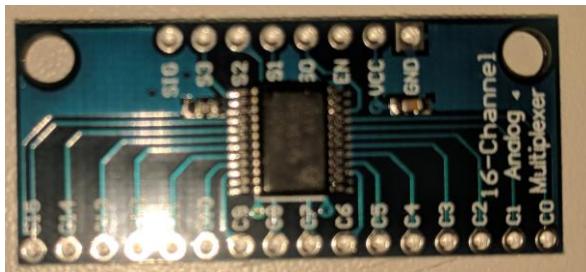


Abbildung 28 CD74HC4067

Eine Alternative zu diesem Multiplexem stellt der CD74HC4067 (Siehe Abbildung 29) dar. Dieser kostet weniger als einen Franken und es gibt ihn auch bereits auf einem Evaluationsboard verlötet. Er funktioniert bereits mit einer Betriebsspannung von 3.3 Volt.

Wird beim Endprodukt ein PCB gefertigt, ist das Evaluationsboard natürlich überflüssig und der Chip kann direkt auf das PCB gelötet werden. Der Teststand für das Zählen der verwendeten Gewichte wird in Abbildung 29 gezeigt.



Abbildung 29 Teststand für das Zählen der Gewichtsscheiben

Die Vorgehensweise für das Zählen der Gewichtsscheiben wird in Abbildung 30 veranschaulicht. Wird ein ausreichend starkes Magnetfeld gemessen und somit die Anwesenheit eines Magneten bestimmt, wird das mit einer 1 im Messvektor vermerkt. Bei der Abwesenheit eines Magnetfelds wird ein 0 eingetragen. Es wird ein Vektor mit Einsen initialisiert. Nach jeder Messung wird eine logische Und-Operation zwischen diesem Vektor (V_{alt}) und dem Messvektor vorgenommen. Das Ergebnis ist der Vektor V_{neu} , welcher als V_{alt} für den nächsten Zeit-schritt dient.

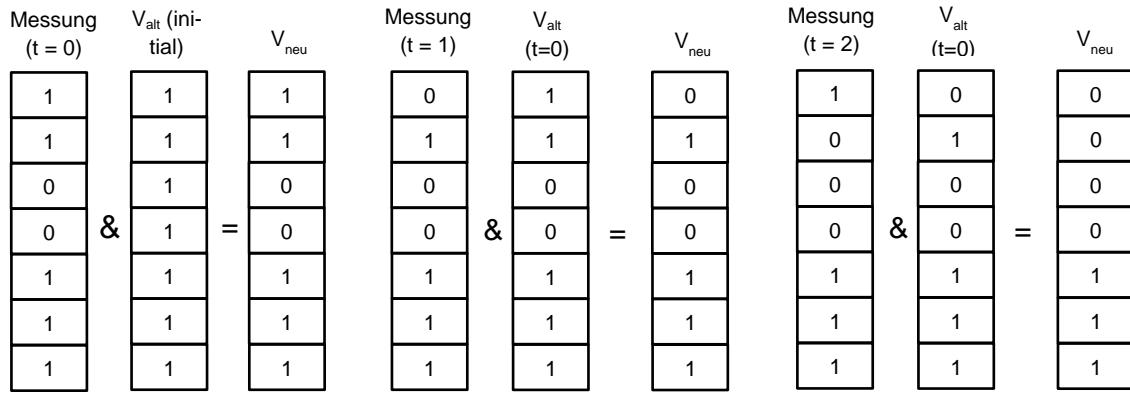


Abbildung 30 Vorgehensweise Gewichte zählen

Die ruhenden Gewichtsscheiben werden gezählt, in dem von unten nach oben durch den Vektor iteriert wird. Sobald eine Null auftrifft bedeutet das, dass dieses Gewicht bewegt wurde. Die Iteration wird abgebrochen. Der aktuelle Wert des Iterators der Schleife steht dabei für die Anzahl ruhender Gewichte und die Anzahl bewegter Gewichte sind die Anzahl aller Scheiben minus den Wert des Iterators.

2.1.5 User-Identifikation

Damit die gemessenen Daten eindeutig dem trainierenden Sportler zugeordnet werden können, muss sich dieser am Krafttrainingsgerät identifizieren können.

Identifikation über QR-Code

Eine Möglichkeit sich an der Krafttrainingsmaschine zu registrieren sind QR-Codes. Hierfür können an den Maschinen Sticker angebracht werden. Diese werden von den Sportlern mit der Smartphonekamera gescannt. Auf dieses Verfahren setzt Kinastic™ (Siehe Abbildung 7). Zusätzlich können auch gleich NFC-Chips in die Sticker integriert werden. Der Sportler kann sich dann anmelden, in dem er sein Smartphone in die Nähe des NFC-Chips hält.

Identifikation per Bluetooth

Wird jedes Krafttrainingsgerät mit einem Bluetooth-Beacon ausgestattet, kann über die Stärke des Signals in einer App der nächst gelegene Beacon ermittelt werden (Siehe Abbildung 31). Über die im Signal enthaltene Identifikationsnummer kann bestimmt werden um welche Krafttrainingsmaschine es sich dabei handelt. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass der Sportler gerade mit dieser Maschine trainiert. Dieses Vorgehen wurde auch im vorangegangenen Vertiefungsprojekt (Siehe Kapitel 1.2.1) für die Identifikation gewählt.

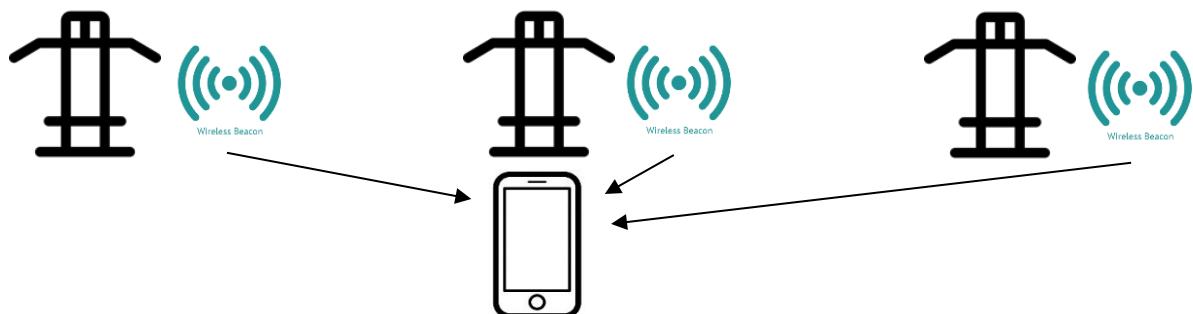


Abbildung 31 Useridentifikation per Bluetooth-Signalstärke

Identifikation mit RFID-Karten

Bei beiden vorangegangenen Identifikationsmethoden wird ein Smartphone vorausgesetzt.



Abbildung 32 MFRC-522

Es ist aber davon auszugehen, dass ein Teil der Sportler für die Trainingsdokumentation kein Smartphone benutzen möchten. In diesem Fall kann es Sinn machen auf bestehenden Systemen, wie den Zutrittskarten für das Fitnesszentrum, aufzubauen. Das Auslesen der Sportler spezifischen UID der Karte, mit einem Lesegerät (Siehe Abbildung 32) dauert etwa 300 Millisekunden und geschieht berührungslos.

2.1.6 Einplatinenrechner

Für Anwendungen im Embedded-Bereich gibt es eine Vielzahl von Einplatinenrechnern (SoC), welche in Frage kommen. Was für ein SoC am besten geeignet ist, hängt sehr stark vom Einsatzzweck und den Anforderungen ab. In dieser Arbeit kamen Rechner aus der Raspberry- und ESP8266-Reihe zum Einsatz.

Raspberry Pi

Der erste Raspberry Pi kam Anfang 2012 auf den Markt und seither wurden mehr als 22 Millionen Geräte verkauft. Die Idee hinter dem Raspberry ist es, einen günstigen Computer für Informatikinteressierte bereitzustellen und so einen niederschwelligen Zugang zur Informatik zu ermöglichen. Es gibt eine riesige Community rund um den Raspberry und es ist mit Abstand das bestunterstützte System. Als Betriebssystem kommt Raspbian zum Einsatz und Python ist die bevorzugte Programmiersprache.

Heute gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Raspberry-Modellen. Diese unterscheiden sich bezüglich angebotener Schnittstellen, Leistung, Baugröße und Preis sehr stark voneinander. Für eingebettete Systeme, die nicht am Stromnetz hängen, ist Energieeffizienz elementar wichtig. Der Energieverbrauch von verschiedenen Raspberry-Modellen wird in Tabelle 3 gezeigt.

Pi Model	Pi State	Power Consumption
A+	Idle, HDMI disabled, LED disabled	80 mA (0.4W)
A+	Idle, HDMI disabled, LED disabled, USB WiFi adapter	160 mA (0.8W)
B+	Idle, HDMI disabled, LED disabled	180 mA (0.9W)
B+	Idle, HDMI disabled, LED disabled, USB WiFi adapter	220 mA (1.1W)
model 2 B	Idle, HDMI disabled, LED disabled	200 mA (1.0W)
model 2 B	Idle, HDMI disabled, LED disabled, USB WiFi adapter	240 mA (1.2W)
Zero	Idle, HDMI disabled, LED disabled	80 mA (0.4W)
Zero	Idle, HDMI disabled, LED disabled, USB WiFi adapter	120 mA (0.7W)

Tabelle 3 Energieverbrauch von verschiedenen Modellen (Geerling, 2020)

Raspberry Pi Zero

Das Raspberry Pi Zero ist das kompakteste und günstigste Raspberry-Modell. Die Version mit Wifi und Bluetooth ist bereits für elf Franken erhältlich. Es ist in Abbildung 33 abgebildet und die wichtigsten Kennzahlen werden in Tabelle 4 aufgeführt.

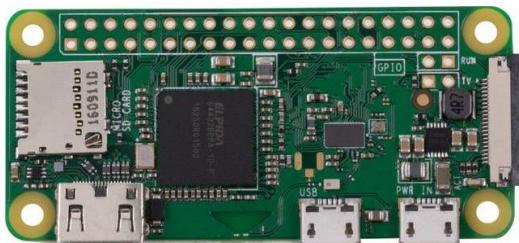


Abbildung 33 Raspberry Zero W

Eigenschaften	
Abmasse	65.0*31.2*5.0 mm
CPU	ARM1176JZF-S
Taktfrequenz	1 GHz
RAM	512 kB
GPIO-Pins	26
Speicherkarte	microSD

Tabelle 4 Kennzahlen

Mit einem Wattmeter wurde die vom Raspberry Zero W aufgenommene Leistung gemessen. Dabei zeigte sich, dass der Stromverbrauch des Systems sehr stark davon abhängig ist, in welchem Zustand sich das Raspberry gerade befindet. Während dem Aufstarten wurde ein Spitzenwert für den Eingangsstrom von 0.2 Ampere gemessen. Im Normalbetrieb beträgt der Eingangsstrom konstant 0.13 Ampere, was bei einer Eingangsspannung von 5 Volt einer Leistung von 0.65 Watt entspricht. Das Aufstarten dauert etwa 90 Sekunden.

Raspberry Pi 4

Während das Raspberry Zero nur einen Prozessorkern besitzt und darum gleichzeitig nur ein Programmstrang ausgeführt werden kann, erlaubt das Raspberry Pi 4 mit seinen vier Kernen das nebenläufige Ausführen von bis zu vier Threads. Diese Eigenschaft macht es als Gateway interessant, weil es so gleichzeitig in Echtzeit die Pakete von mehreren Sensoren empfangen und auswerten kann. Das Raspberry kann dabei neben dem Internet-Router platziert und direkt am Stromnetz angeschlossen werden.



Abbildung 34 Raspberry Pi 4

Eigenschaften

Abmasse	88*58*19.5 mm
CPU	BCM2711B0
Taktfrequenz	1.5 GHz
RAM	4 GB
Video Out	2 x micro HDMI
Power	3 A bei 5 V
Network	Gigabit Ethernet
Wireless	802.11ac /BT 5.0
Speicherkarte	microSD

Tabelle 5 Kennzahlen

Mit seinen vier CPU-Kernen und den vier Gigabyte Arbeitsspeicher hat dieses Raspberry-Modell noch Ressourcenreserven. Dadurch wird es möglich nebenbei noch weitere Aufgaben wahrzunehmen. So wird auch die Implementierung eines Trainingsassistenten möglich.

ESP8266

Beim ESP8266 handelt es sich um einen 32-Bit-Mikrocontroller der Firma espressif™. Er ist sehr kostengünstig und weist einen kleinen Stromverbrauch auf. Es gibt eine ganze Reihe von verschiedenen Modellen. Diese unterscheiden sich vor allem durch die Anzahl verfügbarer Pins und Schnittstellen sowie durch die Baugrößen. ESP8266 ermöglicht es Sensoren günstig und mit wenig Aufwand in kabellose Netze einzubinden. Sie sind ein Grund dafür, dass der Begriff IoT heute in aller Munde ist (Mehta, 2011).

In diesem Projekt werden ESP8266 NodeMCU eingesetzt (Siehe Abbildung 35). Von den physikalisch vorhandenen GPIO-Pins werden viele bereits benutzt und die Anzahl frei verfügbarer Pins verringert sich entsprechend. Zudem sind manche Pins mehrfach belegt. Aus diesem Grund macht es Sinn, die Pinbelegung für das Anschliessen der Sensoren gut zu planen.



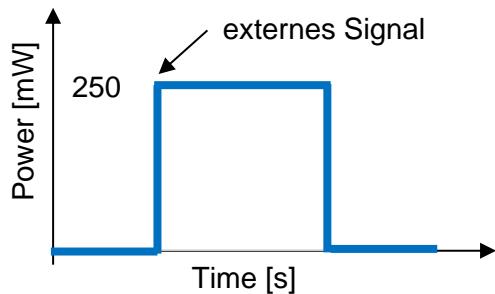


Abbildung 37 Skizze für Verbrauch

Die Schlafzustände sind wichtig, wenn das System längere Zeit batteriebetrieben laufen soll. Es kann sich entweder selbst über eine eingebaute Uhr nach einer gewissen Zeit wecken oder das Wecken kann über ein Signal am GPIO-16 Pin geschehen (Siehe Abbildung 37). Das System steht dann innerhalb von wenigen Sekunden zur Verfügung. Wie in Tabelle 7 ersichtlich, fällt der Verbrauch im Tiefschlaf mit 20 Mikrowatt tief aus.

2.1.7 Batteriebetrieb

Es ist davon auszugehen, dass nicht jede Krafttrainingsmaschine einen Stromanschluss besitzt. Im Fitnesszentrum Kabel zu ziehen ist auch keine Option. Aus diesem Grund ist ein Batteriebetrieb wünschenswert. Als Energiespeicher kommen Ein- oder Mehrwegbatterien in Frage.

Bei dem System von FitTrack™ erfolgt die Stromversorgung mit drei Einwegbatterien der Grösse D (Siehe Kapitel 1.2.2). Diese besitzen je eine Speicherkapazität von etwa 20 Wattstunden.

Für dieses Projekt wurde eine Power Bank von XQISIT™ mit einer Speicherkapazität von 76.96 Wattstunden (Siehe Abbildung 38) verwendet. Diese ist aufladbar und verfügt über drei USB-Anschlüsse. Das Retrofitssystem kann mit konventionellen USB-Kabeln angeschlossen werden. Wird für ein Trainingssatz 90 Sekunden lang 1 Watt konsumiert, hält die Power Bank für über dreitausend Trainingsätze.



Abbildung 38 Power Bank von XQISIT™

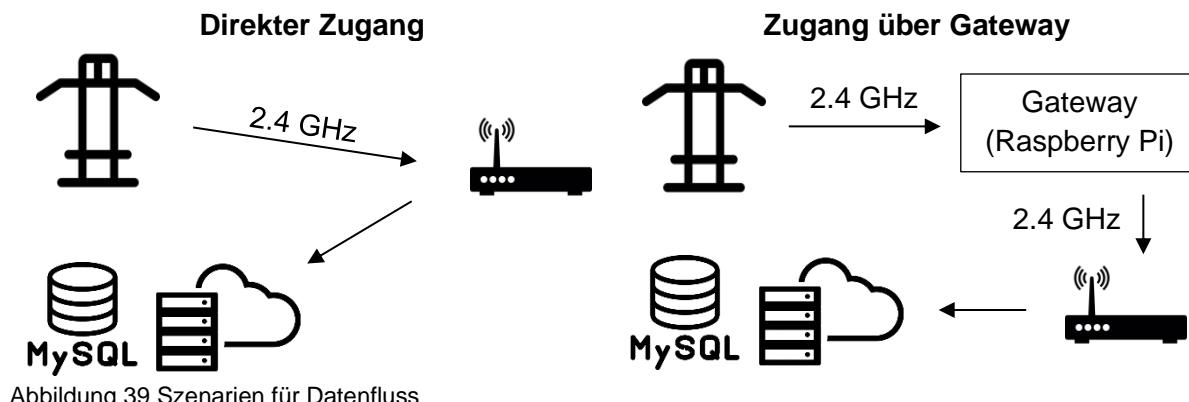
Wie in Kapitel 2.1.6 beschrieben, kann der ESP8266 NodeMCU über ein Signal am GPIO-Pin 16 geweckt werden. Wird hierfür ein Hallsensor verwendet, benötigt dieser konstant eine Leistung von etwa 8 Milliwatt (Siehe Kapitel 2.1.2) was für einen dauerhaften Batteriebetrieb zu viel ist. Alternativ dazu kann ein Reed-Schalter verwendet werden, der öffnet, wenn ein Magnet in der Nähe ist (normally closed). Diese Lösung ist deutlich sparsamer. Bei beiden Varianten muss sichergestellt werden, dass nach dem initialen Einschalten eine gewisse Zeit kein Signal mehr generiert wird, dass den ESP8266 NodeMCU neu startet. Das kann mit einem LM555-Timer und Logik-Gattern realisiert werden.

2.1.8 Datenübertragung

Der Datenfluss der Datenübertragung und die eingesetzten Technologien haben einen starken Einfluss auf die erreichbaren Übertragungszeiten und somit auf das Zeitverhalten des ganzen Systems.

Datenfluss

Für den Datenfluss gibt es zwei Szenarien, die in Frage kommen. Das Retrofitsystem kann entweder direkt mit dem Internet verbunden sein oder über ein Gateway kommunizieren (Siehe Abbildung 39).



Der Einsatz eines Gateways erscheint auf den ersten Blick unnötig zu sein, kann allerdings Vorteile haben. So ermöglicht er beim System von FitTrack™ den Einsatz einer sehr zuverlässigen Sub-Gigahertz-Verbindung zwischen Retrofitsystem und Gateway. Als Gateway dient hier ein Raspberry Pi.

Ein weiterer Vorteil von einem Gateway ist es, dass es reicht wenn das Retrofitsystem die statische IP-Adresse des Gateway kennt. Sämtliche Daten können an diese statische IP-Adresse geschickt werden. Alternativ kann auch ein Broker eingesetzt werden. shiftr.io ist ein Beispiel eines solchen Brokers. Aus Datenschutzüberlegungen heraus ist ein Gateway einem Broker vorzuziehen, da die Daten lokal bleiben.

Protokolle

Für IoT-Anwendungen hat es sich bewährt für das Austauschen von kurzen Nachrichten MQTT zu verwenden. MQTT wurde von IBM entwickelt und besitzt einen kleinen Overhead. Es setzt das Client-Server-Pattern um. Das heisst die Clients senden dem Server (Broker) Nachrichten. Jede Nachricht gehört dabei zu einem Topic. Clients können Topics abonnieren und erhalten Nachrichten, welche zu den abonnierten Topics gehören, automatisch vom Server. Um eine Nachricht zu verschicken reicht es, wenn der Client die statische IP-Adresse des Servers kennt. Es ist üblich die zu übermittelnden Daten im JSON-Format in der Payload der Nachricht unterzubringen (Siehe Tabelle 8).

Topic	Inhalt
gateway/clone	{"machine": "A1", "time": [26225,26275,26324,26374], "position": [140,141,143,139], "UID": "2B 0B 31 21"}
gateway/weight	{"machine": "A1", "restingWeights": "7"}

Tabelle 8 MQTT-Nachrichten

Übertragungszeiten

Bei der reinen Dokumentation des Trainings spielt die Übertragungszeit eine untergeordnete Rolle während es bei einem Live-Feedback sehr wichtig ist, dass sie so klein wie möglich ausfällt, damit der Sportler keine Verzögerung wahrnimmt.

Der Verbindungsaufbau eines Raspberry Pi über SSH zu einer MySQL-Datenbank (python anywhere) dauert etwa fünf Sekunden. Das Übertragen der Daten und die Operationen auf der Datenbank dauert anschliessend etwa 200-250 Millisekunden. Diese Zeiten sind stark abhängig von der Internetbandbreite, der Aulastung des Netzes und der Grösse der zu übertragenden Daten.

Messungen zeigten, dass sich bei der Verwendung von MQTT bei kleinen Paketen Übertragungszeiten von unter 100 Millisekunden realisieren lassen. Durch die kurze Übertragungszeit ist es möglich die Berechnungen des Live-Feedbacks auf ein anderes Gerät auszulagern.

2.1.9 Befestigung

Damit sich das Retrofitsystem während dem Training nicht lösen kann, muss es fest mit der Krafttrainingsmaschine verbunden sein. Zusätzlich ist es wünschenswert, dass Teile des Retrofitsystems beim Anliegen einer Kraft nicht abbrechen, sondern sich verschieben. Da sowohl die Seiten- und Hinterwand sowie die Gewichtsscheiben aus Stahl bestehen, bietet es sich an für die Befestigung des Retrofitsystems Neodym-Magnete zu verwenden. Dabei handelt es sich um Permanentmagnete aus einer Neodym-Eisen-Bor-Legierung. Das Magnetfeld und somit auch die Haltekraft sind sehr hoch, wodurch ein Lösen durch Erschütterungen während dem Training ausgeschlossen werden kann. Durch den Einsatz von Neodym-Magneten werden auch die Montage und Demontage vereinfacht, wodurch sich die Zeit für die Installation verringern. Auf Klebstoffe kann dadurch komplett verzichtet werden.

Beim Smartphone-Halter, welcher im vorangegangenen Vertiefungsprojekt (Siehe Kapitel 1.2.1) benutzt wurde, haben sich Neodym-Magnete gut bewährt. Selbst wenn das Gewicht hohen Beschleunigungen ausgesetzt war, blieb der Halter ortsfest und bewegte sich kein Stück.

2.1.10 Datenspeicherung

Die gesammelten Trainingsdaten sind personenbezogen und lassen Rückschlüsse über die Gesundheit des Sportlers zu. Aus diesem Grund sind sie schützenswert. Beim Umgang mit solchen Daten ist besondere Sorgfalt geboten. Wie in Kapitel 2.1.8 ausgeführt, werden die Trainingsdaten als JSON-Files übertragen und die Datenmenge ist für eine Datenbank sehr klein. Für die Speicherung wurde in diesem Projekt eine MySQL-Datenbank verwendet. Eine Anbindung an MIDATA wäre allerdings langfristig eine gute Option.

MySQL

MySQL ist eine relationale Datenbank, welche von Django als Standarddatenbank unterstützt wird. Django ist ein quelloffenes Webframework, welches das Erstellen von gut skalierenden Webseiten ermöglicht.



MySQL ist Open-Source und für die meisten Betriebssysteme verfügbar. Gerade bei der Datenspeicherung für Webservices hat sich MySQL durchgesetzt. Der Zugriff auf eine remote MySQL-Datenbank kann zum Beispiel über einen SSH-Tunnel erfolgen.

Die Daten innerhalb von MySQL sind stark strukturiert und es können kurze Zugriffszeiten realisiert werden. Leider können JSON-Files nicht native, sondern nur als String in der Datenbank abgelegt werden.

MIDATA

Es kann gegebenenfalls sinnvoll sein für die Speicherung der Daten eine Datenplattform wie MIDATA (Midata, 2020) einzusetzen. MIDATA ist eine nichtgewinnorientierte Genossenschaft, welche Datenplattform-Infrastruktur für Gesundheitsdaten bereitstellt. Die Idee hinter MIDATA ist, dass jede Person selbst entscheiden kann, was mit ihren Daten geschieht.



Gerade wenn das Messsystem benutzt wird, um Daten für eine Studie zu sammeln kann eine Schnittstelle zu MIDATA sehr wertvoll sein.

MIDATA benutzt FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources). Die Daten werden als JSON-Files gespeichert. Es gibt zahlreiche Schutzmechanismen, die das Anbinden von MIDATA aufwendig machen. Zudem muss bei MIDATA zwingend ein neues Projekt eröffnet werden, was eine gewisse Vorlaufzeit voraussetzt.

2.2 Interessensgruppen

Als die wichtigsten Interessensgruppen eines Retrofitsystems für Krafttrainingsmaschinen wurden die folgenden Gruppen identifiziert: Sportler, Forschende und Fitnesszentrenbetreiber. Ein Retrofitsystem sollte so zusammengestellt sein, dass es die Bedürfnisse der jeweils relevanten Interessengruppen möglichst gut abdeckt. Nachfolgend wird genauer auf die Interessensgruppen eingegangen sowie ihre Anforderungen an ein solches System aufgelistet.

2.2.1 Sportler

Das Retrofitsystem wird direkt vom Sportler bedient. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass er damit zu Recht kommt und es intuitiv zu bedienen ist. Das System ersetzt die bisher eingesetzte Trainingskarte aus Karton. Es ist für die Akzeptanz des Systems wichtig, dass das System von allen Sportlern als vollwertige Alternative und Fortschritt wahrgenommen wird.

Während es beim Retrofitsystem selbst wenig Möglichkeiten gibt das Usererlebnis optimal auf die Kundenwünsche hin zu optimieren, kann bei der Weboberfläche mit wenig Aufwand die Wahrnehmung des Systems stark beeinflusst werden.

Charakterisierung

Die Kundschaft unterscheidet sich je nach Fitnesszentrum sehr stark. Während zum Beispiel der ASVZ Studenten als Kunden hat, spricht Kieser Training™ eine ältere Kundschaft an. Auch die Gründe warum Krafttraining gemacht wird unterscheidet sich stark. Während bei jüngeren Sportlern häufig das Aussehen als Motivator für Krafttraining genannt wird, rückt dieser Punkt bei älteren Sportlern eher in den Hintergrund und es wird häufiger die positive Wirkung auf die Gesundheit als Hauptmotivationsgrund genannt.

Weil sich die Zielgruppen stark unterscheiden, erscheint es sinnvoll die Weboberfläche möglichst gut auf die spezifischen Bedürfnisse hin zu optimieren.

Anforderungen

Die Erwartungen an die Verfügbarkeit und die Qualität von technischen Dienstleistungen sind heute sehr hoch. Weiter wird von Usern gefordert, dass die Systeme so einfach und intuitiv aufgebaut sind, dass es nicht nötig ist eine Anleitung oder eine Hilfefunktion konsultieren zu müssen.

Bis anhin konnte Krafttraining nicht so detailliert dokumentiert werden, wie es mit einem Retrofitsystem möglich ist. Es kann vermutet werden, dass die Erwartungen der Durchschnitt-Sportler an die Genauigkeit der erhobenen Trainingsdeskriptoren eher gering ausfallen.

Kunden sind sich heute gewohnt, dass sie von verschiedenen Geräten aus auf ihre Daten zugreifen können. Aus diesem Grund bietet sich eine Lösung auf Basis einer Webseite an.

Wettbewerbsorientierte Sportler teilen erfolgreiche Trainingssessions häufig gerne auf sozialen Netzen mit ihren Freunden. Aus diesem Grund wäre eine Anbindung an Facebook wünschenswert. Es würde dann automatisch eine kurze Zusammenfassung des Trainings gepostet. Diese autogenen Posts stellen Gratiswerbung dar.

2.2.2 Forschende

Forschende im Bereich Gesundheit oder Medizin können ein solches Retrofitsystem benutzen, um eine Datenbasis für Studien zu generieren. Ein Beispiel für eine solche Studie war die Smartphonestudie (Viecelli et al., 2020), welche in Kapitel 1.2.1 beschrieben wird. Eine Aufbereitung der Daten mit Visualisierung für den Sportler wird für eine solche Studie nicht benötigt.

Charakterisierung

Das Ziel von wissenschaftlichen Studien ist es den aktuellen Wissensstand voranzutreiben. Die erhobenen Daten müssen belastbar sein, so dass sie dem Review bei der Publikation eines Papers in einem Journal standhalten. Es sollte zudem die Möglichkeit geben die Genauigkeit des Retrofitsystems mit einer anderen Methode (zum Beispiel mit Videoauswertung) validieren zu können.

Anforderungen

Die Daten sollen einheitlich und mit einer möglichst hohen Genauigkeit erfasst werden. Die erhobenen Daten sind personenspezifisch und schützenswert. Es gibt rechtliche Vorschriften für den Umgang mit solchen Daten. Für die Durchführung einer Studie mit Menschen wird ein Ethikgesuch benötigt. Die Personen, die Zugriff auf die Daten haben müssen im Ethikantrag aufgelistet werden und es muss sichergestellt werden, dass sonst niemand Zugriff hat. MIDATA übernimmt das Datenhandling der personenspezifischen Daten für die Forschenden und eine Schnittstelle für MIDATA ist wünschenswert.

Je mehr Studienteilnehmer die Studie hat, desto aussagekräftiger wird sie. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass das System skalierbar ist. Damit keine Daten verloren gehen können ist es wichtig, dass das System robust ist und nicht ausfällt. Es ist möglich für die Studie Komponenten redundant auszuführen, damit die Wahrscheinlichkeit von Datenverlust sinkt.

Die Kosten des Systems sind bei der Durchführung einer wissenschaftlichen Studie eher weniger relevant, weil sie im Verhältnis zu den übrigen Kosten klein ausfallen und das System nach der Studie nicht mehr benötigt wird.

Es gibt Situationen in denen es wichtig ist, dass ein direkter Zugriff auf die Rohdaten oder auf die Firmware des Systems möglich ist. Aus diesem Grund sollte das System quelloffen und gut dokumentiert sein.

2.2.3 Fitnesszentrenbetreiber

Die Rolle des Fitnesszentrenbetreibers unterscheidet sich stark von derjenigen der beiden anderen Interessensgruppen. Das kommt unter anderem davon, dass er einem starken Konkurrenzkampf ausgesetzt ist.

Charakterisierung

Fitnesszentren finanzieren sich in der Regel über Jahres-Abos. Aus diesem Grund hat es für sie oberste Priorität die Anzahl laufender Abos hoch zu halten und sie, wenn möglich, durch das Anwerben von neuen Kunden, noch zu erhöhen.

Durch die Wahl des Standorts und der eingesetzten Krafttrainingsmaschinen kann sich der Betreiber initial bewusst im Markt positionieren. Danach hat er weit weniger Freiheiten, weil er durch den Standort und das Maschineninventar gebunden ist.

Zusätzlich kann sich das Fitnesszentrum durch die Art des Betriebs (zum Beispiel 24 Stunden am Tag offen) und die gebotenen Dienstleistungen (zum Beispiel viel Zeit für Betreuung) von der Konkurrenz absetzen. Das Retrofitsystem und die digitale Trainingsauswertung bieten eine weitere Möglichkeit, um sich von der Konkurrenz abzuheben.

Weil es ein wichtiger Teil von Qualitätsmanagement ist, die bewussten und unterbewussten Kundenwünsche zu kennen und zu berücksichtigen, befasst sich der Fitnesszentrenbetreiber bereits stark mit der ersten Interessensgruppe und versucht den Sportlern ein bestmögliches Angebot zu bieten.

Anforderungen

Die digitale Dokumentation von Krafttraining kann als Alleinstellungsmerkmal für das Fitnesszentrum dienen. Hat sich der Kunde einmal an die automatische Dokumentation des Trainings gewöhnt, steigt die Schwelle, um zu einem anderen Zentrum zu wechseln, welches diesen Service nicht anbietet. Zudem könnte der Kunde bei einem Wechsel seine Daten verlieren. Diese Situation wird «Lock-In-Effekt» genannt, und ist aus der Sicht des Betreibers eines Fitnesszentrums erwünscht. Der Effekt hilft bei der langfristigen Kundenbindung.

Sowohl die fixen als auch die variablen Kosten eines Systems zur Erfassung von Krafttraining sollten aus der Sicht eines Fitnesszentrenbetreibers möglichst klein ausfallen. Die Herstellkosten können klein gehalten werden, in dem das Retrofitsystem genau die nötigen Anforderungen des Kunden erfüllt, aber nicht mehr.

Die variablen Kosten entstehen primär durch die Wartung des Retrofitsystems. Die Batterien müssen zum Beispiel regelmäßig geladen werden. Damit die Zeit zwischen dem Laden der Batterien möglich lange ausfällt, sollte das System möglichst energieeffizient arbeiten. Durch den rauen Umgang mit den Kraftmaschinen durch die Kunden kann es zu Beschädigungen des Retrofitsystems kommen. Aus diesem Grund sollte das System möglichst einfach zugänglich und einfach zu reparieren sein. Es ist zudem erwünscht, dass keine Komponenten an die Maschinen geklebt werden.

2.3 Retrofitsystem-Varianten

In den vorangegangenen Kapiteln 2.2.1 bis 2.2.3 wurden die relevanten Interessensgruppen identifiziert und ihre spezifischen Anforderungen an ein Retrofitsystem beschrieben. Um den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden, wurden verschiedene Varianten eines Retrofitsystems erarbeitet.

2.3.1 Übersicht verschiedene Varianten

Die Varianten unterscheiden sich stark bezüglich der eingesetzten Komponenten und Messprinzipien der Sensoren. In Tabelle 9 werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten zusammengefasst.

Eigenschaften	Hall-Array	Eco	Klon (Pi)	Klon (ESP)
Genauigkeit Position bestimmen [cm]	3*	6/3*	3	3
Scheibenzähler anschliessbar	Ja	Nein	Ja	Nein
Zuverlässige Identifizierung	+	++	++	++
Energieverbrauch [W]	1	0.25	1	0.25
Hardwarekosten [CHF]	32.50	14.70	33.00	22.00
Leistungsreserven	++	+	++	+
Gateway nötig	Nein	Ja	Nein	Ja
Startzeit [s]	90	3	90	3

Tabelle 9 Variantenvergleich

Die Eigenschaften haben aus der Sicht der Interessensgruppen eine unterschiedlich hohe Wichtigkeit. Aus diesem Grund werden von den Interessensgruppen unterschiedliche Varianten bevorzugt.

Sicht eines Sportlers

Es ist mit allen Varianten möglich die Benutzererfahrung gegenüber dem Status Quo zu verbessern, weil dem Sportler das Dokumentieren des Trainings abgenommen wird. Es ist davon auszugehen, dass die Anforderungen an die Kosten und die Genauigkeit an das Retrofit-system eher gering sind.

Sicht eines Forschenden

Das Zählen der Gewichtsscheiben muss möglich sein und die Positionsbestimmung sollte so genau wie möglich sein. Aus diesen Gründen sind die Varianten Klon und Eco nicht geeignet. Die höheren Fertigungskosten sind für eine Studie gerechtfertigt.

Sicht eines Fitnesszentrenbetreibers

Die Varianten Eco und Klon (ESP) können sehr günstig gefertigt werden und sind darum für eine Digitalisierung eines Kraftzentrums aus der Sicht eines Fitnesszentrenbetreibers attraktiv. Bezuglich Energieverbrauch schneidet die Variante Eco besonders gut ab.

2.3.2 Variante Scheibenzähler

Für den Ansatz die ruhenden Gewichtsscheiben zu zählen (Siehe Kapitel 2.1.4), wurde ein Prototyp angefertigt (Siehe Abbildung 42). Der Prototyp kann entweder an einer Seiten- oder Hinterwand der Krafttrainingsmaschine angebracht werden.

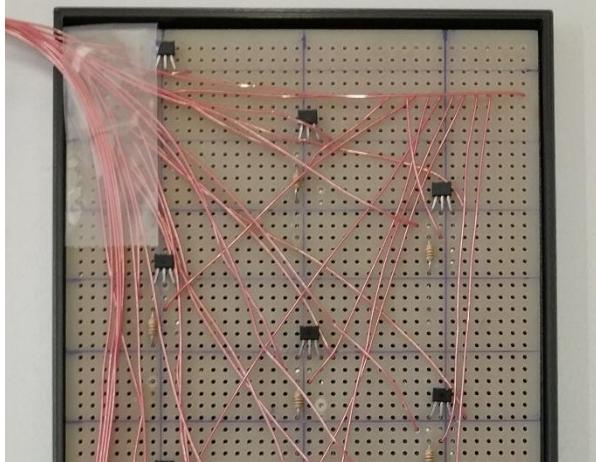


Abbildung 42 Variante Scheibenzähler

Sowohl die Hallsensoren als auch die Magnete sind in einem Treppenmuster angeordnet. Der Prototyp weist eine Dicke von acht Millimetern auf. Wird ein dimensionsoptimiertes PCB gefertigt, sollte es möglich sein, die Dicke auf drei bis vier Millimeter zu verringern. Die korrekte Bestimmung des Gewichts ist bis zu einem Abstand von zwölf Millimetern zwischen Hallsensor und Magnet möglich.

Für die Positionierung der Magnete bei der Montage kann eine Schablone aus Kunststoff mit Fächern für die Magnete gefertigt werden. Wird der Deckel entfernt, haften die Magnete gerade an den richtigen Stellen an den Gewichtsscheiben.

Es werden jeweils vier Pins für die Datenleitungen (A0 bis A3), ein Pin für EN und zwei Pins für die Versorgungsspannung und Erdung benötigt. Der Scheibenzähler kann als Stand Alone-System ausgeführt werden, oder an ein bestehendes System angeschlossen werden.

Verwendung eines ESP8266 NodeMCU

In Abbildung 43 wird der Scheibenzähler gezeigt, wenn ein ESP8266 NodeMCU eingesetzt wird.

Der ESP8266 NodeMCU braucht im Tiefschlaf sehr wenig Energie (Siehe Tabelle 7). Er kann entweder durch die interne Uhr oder durch ein externes Signal (Siehe Abbildung 37) aus dem stromsparenden Zustand aufgeweckt werden. Das Wecken mit der internen Uhr ist hier nicht möglich.

Das Aufwecken durch ein externes Signal funktioniert indem ein Signal an den Reset-Pin gesendet wird. Der ESP8266 NodeMCU steht dann innerhalb von etwa drei Sekunden zur Verfügung. Das Signal wird mit einem Druckknopf erzeugt (Siehe Abbildung 43). In der endgültigen Lösung kann hierfür ein Reed-Schalter verwendet werden.



Abbildung 43 ESP8266 NodeMCU

Mit Hilfe eines Wattmeters kann die aufgenommene Leistung bestimmt werden. Diese beträgt 0.35 Watt und fällt damit um 0.1 Watt höher aus als der Grundverbrauch des ESP8266 NodeMCU. Der Mehrverbrauch ist dem Einsatz der Hallsensoren geschuldet. Mit den im Datenblatt (A1120, 2020) genannten Werten kann der Verbrauch eines Hallsensors mit 8.25 Milliwatt abgeschätzt werden. Bei 16 Hallsensoren entspricht das einer geschätzten Leistung von 0.132 Watt.

Wird der ESP8266 NodeMCU geweckt, bestimmt er die Anzahl stehender Gewichtsscheiben, teilt diese per MQTT-Nachricht dem Gateway mit und macht eine halbe Sekunde Pause. Dieses Vorgehen wird über zwei Minuten hinweg wiederholt. Die MQTT-Nachrichten sehen wie folgt aus:

```
{"machine": "A1", "restingWeights": "7"}
```

Das Zählen der Gewichtsscheiben dauert etwa 100 Millisekunden. Das liegt daran, dass nach dem die Pins für den Multiplexer Tief oder Hoch gesetzt werden fünf Millisekunden gewartet werden muss, bevor der entsprechende Kanal ausgelesen werden kann. Das ist beim Raspberry Pi nicht der Fall. Beim Raspberry kann auf den ausgewählten Kanal unmittelbar nach dem Setzen der Pins zugegriffen werden.

Verwendung eines Raspberry Pi

Wird der Scheibenzähler an einem Raspberry Pi Zero angeschlossen, dauert es wenige Millisekunden, um die Anzahl verwendeter Gewichtsscheiben zu bestimmen. Mit dem Wattmeter wurde bei der Verwendung eines Raspberry Pi Zero eine Aufnahmleistung von einem Watt gemessen.

Kostenschätzung

Bei der Kostenschätzung wird unterschieden, ob der Scheibenzähler als Stand Alone-System ausgeführt (Siehe Tabelle 10), oder an ein bestehendes System angeschlossen (Siehe Tabelle 11) wird.

Die Kosten der Kunststoffteile wurden nicht berücksichtigt. Bei den Preisen für die Magnete handelt es sich um Einzelhandelspreise. Werden grössere Stückzahlen bestellt oder ein anderer Typ Magnete eingesetzt, ist mit deutlich kleineren Kosten zu rechnen.

Stand Alone mit Raspberry Pi

Komponente	Preis [CHF]
Raspberry Zero W	11.00
SD-Karte	5.00
1 x MAX306CPI	9.00
16 x Hallsensor	8.00
16 x Widerstand	1.60
16 x Magnet	8.00
Total	42.60

Stand Alone mit ESP8266 NodeMCU

Komponente	Preis [CHF]
ESP8266 NodeMCU	5.00
1 x MAX306CPI	9.00
16 x Hallsensor	8.00
16 x Widerstand	1.60
16 x Magnet	8.00
Total	31.60

Tabelle 10 Kostenschätzung als Stand Alone System

Wird der Scheibenzähler an ein bestehendes System angeschlossen, verringern sich die Kosten entsprechend (Siehe Tabelle 11). Dabei muss sichergestellt werden, dass genügend Pins zur Verfügung stehen.

Anschluss an bestehendes System

Komponente	Preis [CHF]
1 x MAX306CPI	9.00
16 x Hallsensor	8.00
16 x Widerstand	1.60
16 x Magnet	8.00
Total	26.60

Tabelle 11 Anschluss an bestehendes System

Wie in Kapitel 2.1.4 erwähnt, ist der verwendete Multiplexer zu gross, zu teuer, für höhere Spannungen ausgelegt und sollte bei einem Neudesign durch einen kompakteren, günstigeren ersetzt werden. Beim Endprodukt sollte ein CD74HC4067 (Siehe Abbildung 28) verwendet werden und ein PCB angefertigt werden. Dieser kostet weniger als einen Franken.

2.3.3 Variante Hall-Array

Die Idee hinter dieser Variante ist, dass ein Magnet an einem eindimensionalen Hallsensor-Array vorbeigezogen wird. Der Magnet wird dabei an der obersten Gewichtsscheibe des Gewichtstapels angebracht. Sobald das Magnetfeld stark genug ist, schlägt ein Sensor nach dem anderen an. So kann die absolute Position des Gewichts bestimmt werden. In Abbildung 44 wird die Umsetzung dieses Konzepts gezeigt. In dem weissen Balken sind die Hall-Sensoren untergebracht.



Abbildung 44 Hall-Array Prototyp

Abbildung 45 zeigt das Innenleben des oberen Teils dieser Variante. An den Enden sind Neodym-Magnete angebracht. Diese sorgen für einen sicheren Halt des Systems an der Seitenwand der Krafttrainingsmaschine. Die Verarbeitung der von den Sensoren gemessenen Daten wird von einem Raspberry Zero übernommen.



Abbildung 45 Innenansicht

Das Bluetooth-Modul des Raspberry Zero kann in einen Beacon-Mode versetzt werden. Es sendet dann in regelmässig Abständen Nachrichten über Bluetooth aus und verhält sich wie ein Beacon. Diese werden für die Ortsbestimmung des Sportlers verwendet. Es kann der in Kapitel 2.1.5 beschriebene Ansatz zur Identifikation per Bluetooth verwendet werden.

Der in Kapitel 2.3.2 vorgestellte Scheibenzähler kann an dieses System angeschlossen werden und übernimmt das Bestimmen der verwendeten Gewichtsscheiben. Der Energieverbrauch beträgt im Normalbetrieb etwa ein Watt.

Datenblatt

Die wichtigsten Daten und Kennzahlen sind im folgenden Datenblatt zusammengefasst.

Eigenschaft	Eigenschaft
Plattform	Raspberry Pi
Genauigkeit Position	3 cm *
User-Identifikation	Bluetooth (App)
Kommunikation	Wifi 2.4 GHz
	Energieverbrauch
	Messmethode
	Scheibenzähler
	Protokoll
	etwa 1 Watt
	absolut
	anschliessbar
	MQTT oder SSH

*hängt von der Anzahl Hallsensoren ab

Tabelle 12 Datenblatt

Kostenschätzung

Die Kosten für die Herstellung eines solchen Retrofitsystems sind stark von der Stückzahl der Serie abhängig. Gerade die Kosten der Kunststoffteile sinken mit einer höheren Stückzahl sehr stark. Aus diesem Grund werden sie bei der Abschätzung der Kosten in Tabelle 13 nicht berücksichtigt. Für die Preise wurde entweder der im Internet aktuell günstigste Preis oder der Preis bei der Bestellung verwendet. Es ist davon auszugehen, dass die Preise nochmals stark gesenkt werden könnten, wenn grössere Mengen direkt vom Lieferanten in China bezogen werden.

Komponente	Preis [CHF]
Raspberry Zero	11.00
SD-Karte	5.00
22 x Hallsensor	11.00
22 x Widerstand	2.00
7 x Magnet	3.50
Total	32.50

Tabelle 13 Kostenschätzung

Für die Anordnung der Hallsensoren und Widerstände würde bei einer Kleinserie ein speziell gefertigtes Board (PCB) benötigt. Die Kosten hierfür sind nicht in der Kostenschätzung enthalten.

2.3.4 Variante Eco

Die Variante Eco ist auf Wirtschaftlichkeit hin optimiert. Soll ein ganzer Kraftraum digitalisiert werden, müssen die Kosten pro Krafttrainingsmaschine möglichst tief gehalten werden. Aus diesem Grund wurde die Anzahl Sensoren auf ein Minimum reduziert. Es kommt mit nur zwei Hallsensoren aus. Das Retrofitsystem ist dadurch sehr energieeffizient. Die Akkus müssen dadurch seltener geladen werden, was das Personal entlastet.

Speziell an dieser Variante ist, dass das System auf dem Gewichtsblock angebracht wird (Siehe Abbildung 46 links) und inkremental misst (Siehe Kapitel 2.1.3). Die Aufgabe des weissen Magnethalter ist es die Magnete in regelmässigen Abstand zu einander zu positionieren. Durch das Besetzen der Fächer des Halters mit Magneten kann die geforderte Genauigkeit eingestellt werden. Der Prototyp und der Magnethalter werden beide sicher mit Magneten gehalten. Das ermöglicht eine schnelle Montage und Demontage.



Abbildung 46 Prototyp Eco und Magnethalter

Weil das System inkremental misst, sollte nicht nur die aktuelle Positionsänderung übermittelt werden, weil sonst bei einem Paketverlust eine falsche Position berechnet würde. Aus diesem Grund sollte zusätzliche Redundanz eingebaut werden. Anstatt nur die aktuelle Positionsänderung könnten die Positionsänderungen der vergangenen Sekunden oder die berechnete absolute Position mitübermittelt werden.

Das geöffnete System ist in Abbildung 47 links ersichtlich. Das RFID-Modul ist im Deckel untergebracht und wird in Abbildung 47 rechts gezeigt. Sportler können sich durch das Aufliegen einer RFID-Karte (zum Beispiel der CampusCard) am Gerät identifizieren.

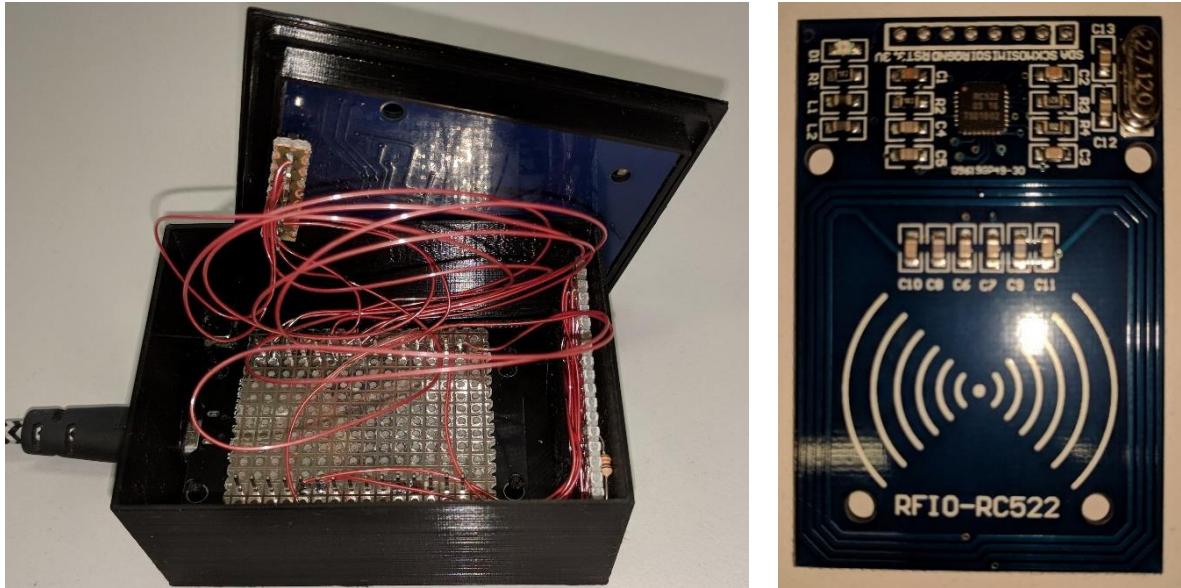


Abbildung 47 Geöffneter Prototyp und RFID-Modul

Energieverbrauch

Durch die Verwendung eines ESP8266-Boards fällt das System sehr energieeffizient aus. Sowohl das RFID-Modul als auch die Hallsensoren können mit 3.3 Volt betrieben werden. Da sich diese Variante mit den Gewichtsscheiben auf und ab bewegt, kann der Scheibenzähler aus Kapitel 2.3.2 nicht angeschlossen werden.

Datenblatt und Kosten

Die wichtigsten Daten und Kennzahlen sind im folgenden Datenblatt zusammengefasst.

Eigenschaft	Eigenschaft		
Plattform	ESP8266	Energieverbrauch	etwa 0.25 Watt
Genauigkeit Position	6, 3 oder 1.5 cm*	Messmethode	inkremental
User-Identifikation	RFID-Karte	Scheibenzähler	nicht anschliessbar
Kommunikation	Wifi 2.4 GHz	Protokoll	MQTT

*hängt von der Anzahl Magnete ab

Tabelle 14 Datenblatt

Die Kostenschätzung ist in Tabelle 15 ersichtlich. Die Kosten der Kunststoffteile wurden nicht berücksichtigt.

Komponente	Preis [CHF]
ESP8266 NodeMCU	5.00
1 x RFID-Modul	2.00
2 x Hallsensor	1.00
2 x Widerstand	0.20
13 x Magnet	6.50
Total	14.70

Tabelle 15 Kostenschätzung

2.3.5 Variante Klon

Sowohl der Einsatz von Hallsensoren für die Positionsbestimmung bei Krafttrainingsmaschinen als auch die User-Identifikation über Bluetooth sind neu. Aus diesem Grund wurde eine Variante entwickelt, welche näher beim System von FitTrack™ liegt. Die Positionsbestimmung wird mit einem TOF-Sensor (Adafruit VL53L0X) umgesetzt und der Sportler identifiziert sich mit einer RFID-Karte über ein RFID-Modul (MFRC522). Wird ein Raspberry verwendet, kann für die Bestimmung der Anzahl benutzter Gewichtsscheiben der Scheibenzähler mit Hallsensoren aus Kapitel 2.3.2 angeschlossen werden.

Verwendung eines ESP8266 NodeMCU

Die Positionierung der Komponenten im Gehäuse ist in Abbildung 48 ersichtlich. Der TOF-Sensor befindet sich im unteren Bereich während das RFID-Modul zum Auslesen der Karte an der Seitenwand befestigt ist. Der ESP8266 NodeMCU wird in den Deckel geklebt.

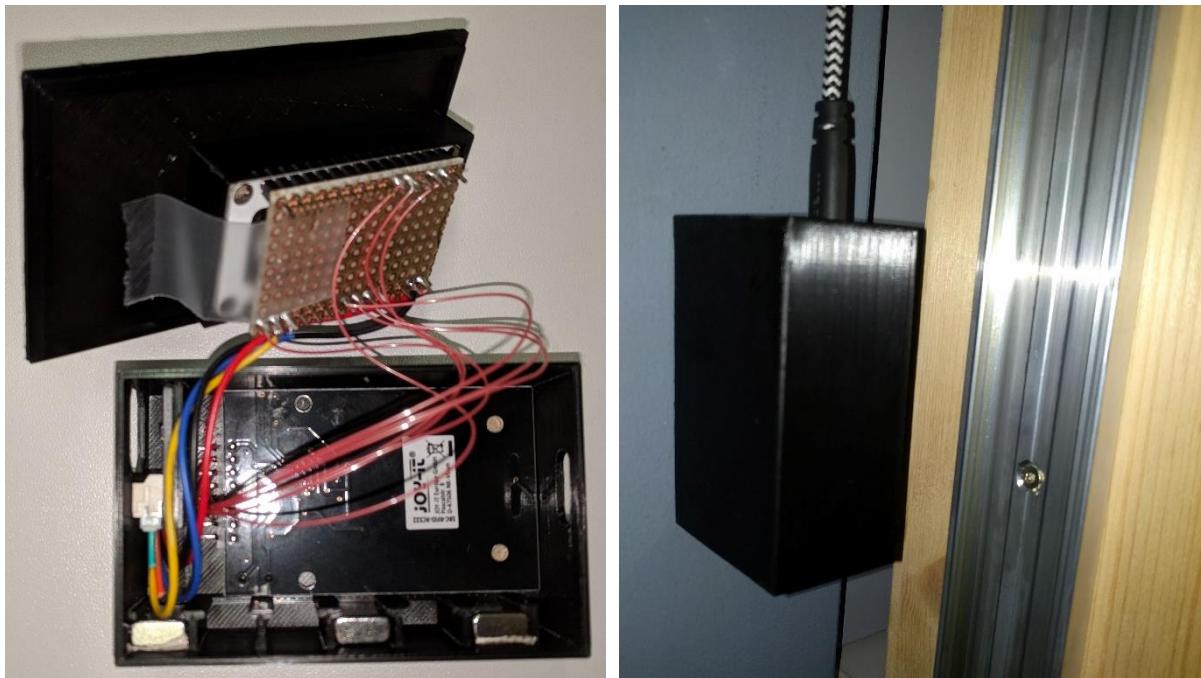


Abbildung 48 Prototyp mit TOF-Sensor und RFID-Modul

Sobald das RFID-Modul eine Karte registriert, wird damit begonnen die Position des Gewichts mit dem TOF-Sensor zu bestimmen. Sobald eine bestimmte Anzahl Messungen erfolgt ist, werden die gemessenen Daten und die UID der Karte als MQTT-Nachricht übermittelt. Ein Beispiel für eine solche MQTT-Nachricht ist unten abgebildet.

```
{"position": [140,141,143,139], "time": [26225,26275,26324,26374], "machine": "A1", "UID": "2B 0B 31 21"}
```

Die Zeit von einer Nachricht zur nächsten ist abhängig von der Abtastfrequenz und der Anzahl Messungen zwischen den Nachrichten. In Tabelle 16 werden gemessene Beispielwerte für die Charakteristik der Übertragung aufgelistet.

Abtastfrequenz [Hz]	Messungen pro Nachricht	Zeit zwischen Nachrichten [ms]
10.03	8	767
10.03	4	367
10.10	2	168
20.17	8	415
20.13	4	217
20.00	2	118

Tabelle 16 Gemessene Werte für die Übertragungscharakteristik

Die Zeit zwischen den Nachrichten setzt sich aus der Mess- und der Übertragungszeit zusammen. Die Übertragungszeit beträgt typischerweise etwa 60-80 Millisekunden. Für die reine Dokumentation des Trainings ist die Zeit zwischen den Nachrichten nicht relevant. Sie wird allerdings wichtig, wenn ein Trainingsassistent umgesetzt werden soll, der zeitnah ein Feedback zum Training gibt (Siehe Kapitel 3).

Die Messung wird gestoppt, sobald sich die Position des Gewichts über eine gewisse Zeit nicht mehr ändert. Der ESP8266 NodeMCU wird dann in den Tiefschlaf gelegt. Eingeschaltet verbraucht er etwa 0.25 Watt.

Datenblatt

Die wichtigsten Daten und Kennzahlen sind im folgenden Datenblatt zusammengefasst.

Eigenschaft	Eigenschaft		
Plattform	ESP8266	Energieverbrauch	etwa 0.25 Watt
Genauigkeit Position	etwa 4 %	Messmethode	absolut
User-Identifikation	RFID-Karte	Scheibenzähler	nicht anschliessbar
Kommunikation	Wifi 2.4 GHz	Protokoll	MQTT

Tabelle 17 Datenblatt

Verwendung eines Raspberry Pi

Die Komponenten können kompakt in einem Gehäuse untergebracht werden (Siehe Abbildung 49). Dabei befindet sich das RFID-Modul an der Seitenwand und der TOF-Sensor auf der Unterseite. Der Raspberry Pi wurde in einem Fach im oberen Bereich positioniert, um eine gute Wifi-Verbindungsqualität zu erzielen. Das System kann mit Magneten entweder an der Rück- oder Seitenwand der Krafttrainingsmaschine angebracht werden.



Abbildung 49 Prototyp mit TOF-Sensor und RFID-Modul

Das Auslesen einer RFID-Karte mit dem RFID-Modul (MFRC522) dauert etwa 300 Millisekunden. Weil das Raspberry nur einen CPU-Kern hat kann in dieser Zeit nicht mit dem TOF-Sensor gemessen werden. Aus diesem Grund ist das Stoppen der Messung per Hinhalten der Karte keine Option. Als Abbruchkriterium für die Messung der Position mit dem TOF-Sensor wird ein mindestens fünf Sekunden anhaltender Stillstand des Gewichts verwendet.

Sowohl der TOF-Sensor als auch das RFID-Modul kommen mit 3.3 Volt aus und der Raspberry verbraucht etwa 1 Watt.

Datenblatt

Die wichtigsten Daten und Kennzahlen sind im folgenden Datenblatt zusammengefasst.

Eigenschaft	Eigenschaft
Plattform	Raspberry Pi
Genauigkeit Position	etwa 4 %
User-Identifikation	Bluetooth (App)
Kommunikation	Wifi 2.4 GHz
Energieverbrauch	etwa 1 Watt
Messmethode	absolut
Scheibenzähler	anschliessbar
Protokoll	MQTT oder SSH

Tabelle 18 Datenblatt

Kostenschätzung

Die Kostenschätzung ist in Tabelle 19 ersichtlich. Die Kosten der Kunststoffteile wurden nicht berücksichtigt.

Variante mit Raspberry Pi

Komponente	Preis [CHF]
Raspberry Zero W	11.00
SD-Karte	5.00
1 x RFID-Modul	2.00
TOF-Sensor	15.00
Total	33.00

Tabelle 19 Kostenschätzung Variante Klon

Variante mit ESP8266 NodeMCU

Komponente	Preis [CHF]
ESP8266 NodeMCU	5.00
1 x RFID-Modul	2.00
TOF-Sensor	15.00
Total	22.00

2.4 Datenauswertung

Das Ziel der Datenauswertung ist es, die von Toigo et al. (Toigo & Boutellier, 2006) beschriebenen Deskriptoren für die Beschreibung von Krafttraining zu bestimmen. Im Vergleich zur vergangenen Vertiefungsarbeit und der Smartphonestudie (Viecelli et al., 2020) fällt das Auswerten der Daten hier einfacher aus, weil Distanz- anstatt Beschleunigungssensoren eingesetzt werden. Die gemessenen Rohdaten der verschiedenen Varianten unterscheiden sich stark voneinander. Die in Abbildung 50 gezeigten Daten sind bei einer Messung mit der Variante Hall-Array entstanden. Da mit Flankendetektion sowohl steigende als auch fallende Flanken aufgezeichnet wurden, gibt es für jeden Sensor jeweils zwei Messpunkte. Die dadurch vorhandene Redundanz ermöglicht es Plausibilitätstest durchzuführen. Die Messpunkte sind nicht äquidistant verteilt.

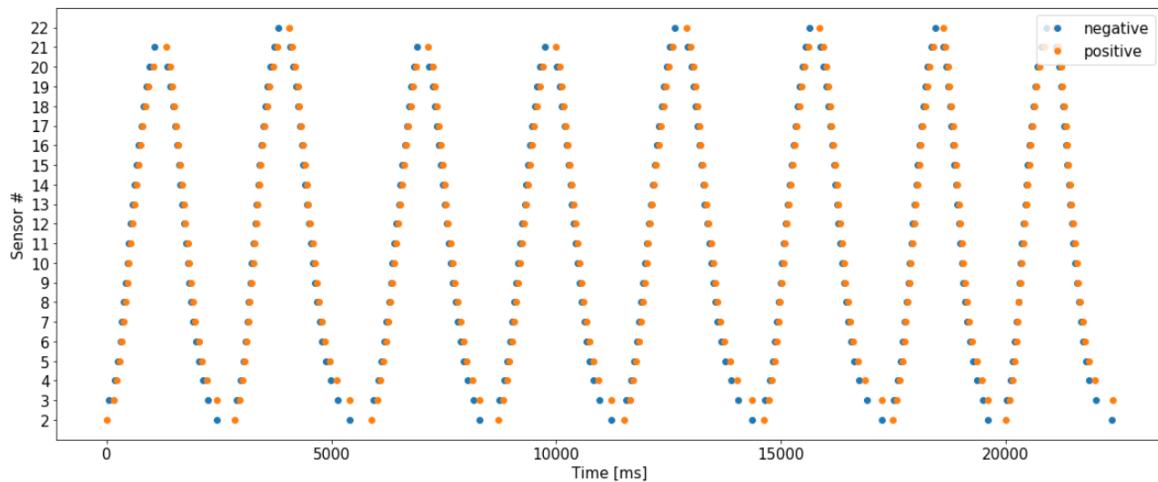


Abbildung 50 Rohdaten

2.4.1 Naiver Ansatz

Beim naiven Ansatz wird davon ausgegangen, dass jede Wiederholung jeweils aus einer konzentrischen und einer exzentrischen Phase besteht. Während der konzentrischen Phase wird das Gewicht angehoben und bei der exzentrischen wird das Gewicht abgesenkt. Eine solche Wiederholung ist in Abbildung 51 in der Geschwindigkeitsdomäne ersichtlich. Der Übergang der Kontraktionsarten geschieht bei den Nulldurchgängen (A, B und C).

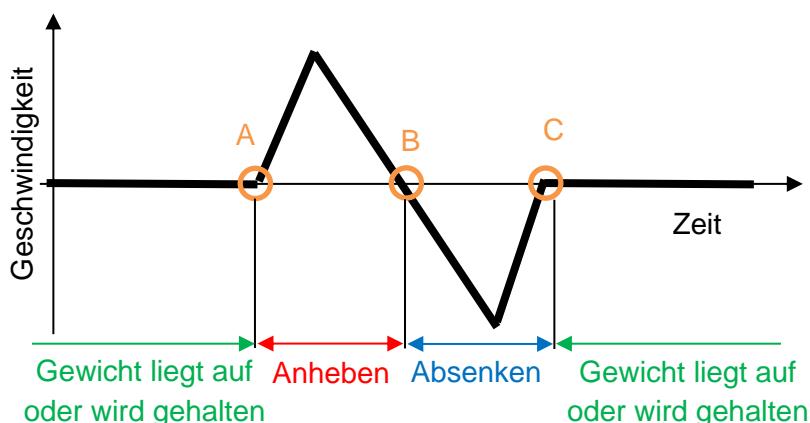


Abbildung 51 Skizze

Es wird zunächst nur die Messreihe der steigenden Flanken (negative) betrachtet. Unter Berücksichtigung des Abstands zwischen den Hallsensoren von 30 Millimetern entsteht Abbildung 52 oben und durch ableiten ergibt sich der untere Geschwindigkeitsverlauf.

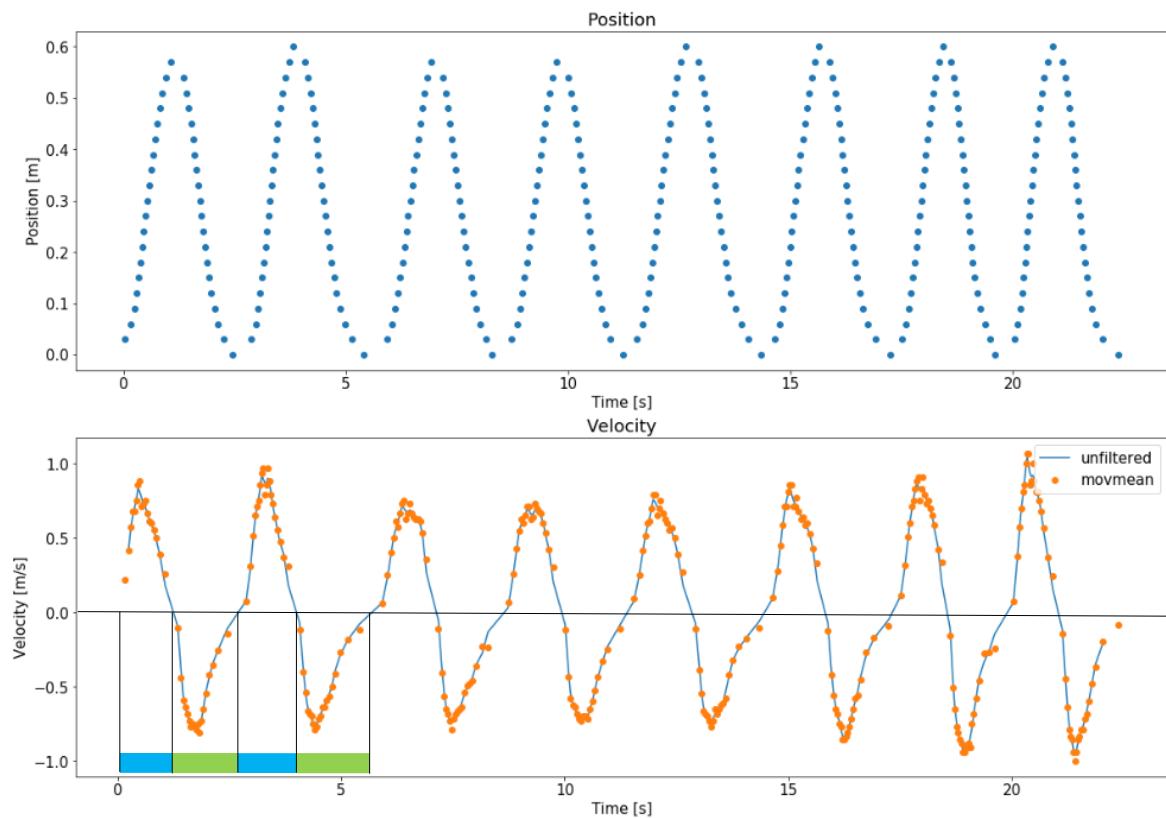


Abbildung 52 Positions- und Geschwindigkeitsverlauf

Die Übergänge zwischen den Kontraktionsarten sind die Nulldurchgänge im, in Abbildung 52 unten gezeigten, Geschwindigkeitsverlauf. Damit der Geschwindigkeitsverlauf möglichst stetig ist, können Filter (zum Beispiel ein Moving Average Filter) eingesetzt werden. Für die ersten beiden Wiederholungen wurden die konzentrischen (blau) und exzentrischen (grün) Phasen eingezeichnet. Diese befinden sich zwischen den Nulldurchgängen. Die Anzahl Wiederholungen kann durch Abzählen der Moden realisiert werden und die Spannungsdauer ergibt sich durch aufaddieren der Phasenlängen. Der Bewegungsumfang kann bestimmt werden, in dem das Maximum und Minimum im Positionsverlauf über die Dauer der Wiederholung ermittelt wird.

In der vorangegangenen Studie mit Smartphones gelange es mit einem solchen Verfahren die Dauer der Kontraktionsarten im Median auf 80 Millisekunden genau zu bestimmen (Viecelli et al., 2020). Der Geschwindigkeitsverlauf kam durch das Integrieren des Beschleunigungsverlaufs zu Stande und neigte durch den Integrationsfehler zum Driften. Dadurch war es nicht möglich, die Länge der isometrischen Phasen und den Bewegungsumfang zu bestimmen. Bei der isometrischen Phase bleibt das Gewicht ortsfest oder bewegt sich nur sehr langsam.

2.4.2 Schwellenwert-Ansatz

In dieser Arbeit werden Wegsensoren eingesetzt. Das hat den Vorteil, dass der Fehler beim Ableiten des Positionsverlaufs wesentlich kleiner ausfällt, als wenn er durch die Integration des Beschleunigungsverlaufs zu Stande kommt. Es wird dadurch möglich die isometrischen Phasen, also die Zeiten, zu denen das Gewicht stillsteht oder sich nur sehr langsam bewegt, zuverlässig zu bestimmen. In Abbildung 53 wird ein Trainingsdatensatz gezeigt, der isometrische Phasen enthält.

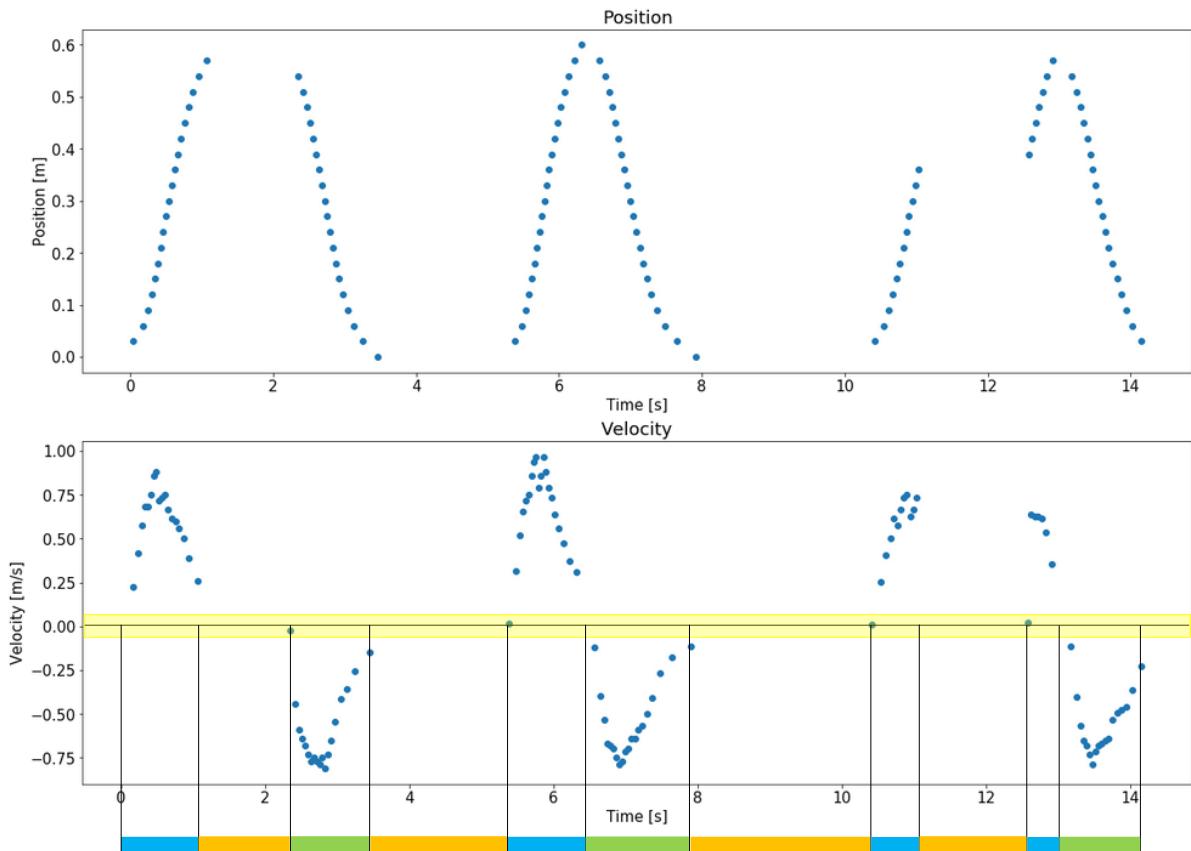


Abbildung 53 Bestimmen der Kontraktionsarten

Für die Zuteilung auf die Kontraktionsarten wurde ein Schwellenwert definiert. Unterschreitet die durchschnittliche Schnelligkeit über einem Segment diesen Schwellenwert, wird dieses Segment als isometrische Phase angesehen. In Abbildung 53 sind diese orange eingezeichnet und der Schwellenwertbereich ist gelb markiert. Häufig geschehen solche Pausen in den Extrempositionen (das Gewicht befindet sich ganz oben oder wird unten abgestellt). Wird das Gewicht abgestellt handelt es sich dabei um eine Pause, weil der Muskel keine Kraft aufwendet. Es ist nicht möglich zu unterscheiden, ob das Gewicht unten abgestellt wurde oder ob es durch den Sportler unter Muskellspannung an einem Ort gehalten wird.

2.4.3 Mehrpunktansatz

Wird mit einem TOF-Sensor gemessen, fallen die Abstände zwischen den Messpunkten stets gleich gross aus. Dadurch wirkt ein Filter, dessen Fenster über eine fixe Anzahl Messpunkte definiert ist, immer auch über die gleiche konstante Zeitdauer.

Da der Sensor oberhalb des Gewichts angebracht ist und die Distanz zum Gewicht misst, muss in einem ersten Schritt der Positionsverlauf invertiert werden. Hierfür wird erst der Maximalwert bestimmt und anschliessend alle Werte davon abgezogen. Die gemessene Zeitreihe wird dadurch invertiert (Siehe Abbildung 54).

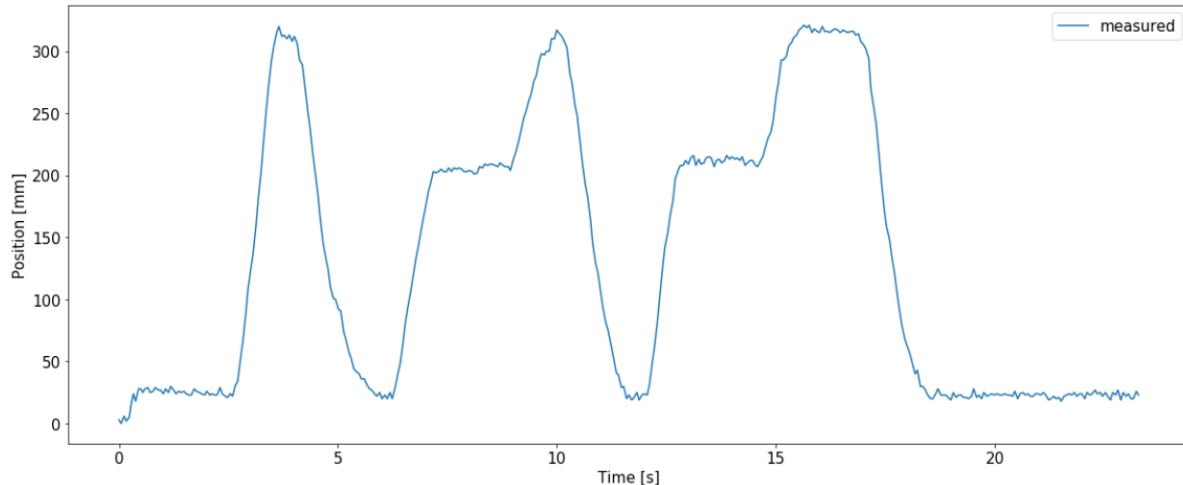


Abbildung 54 Invertierter Positionsverlauf

Während der konzentrischen Spannungsdauer wird das Gewicht angehoben. Das heisst die Werte der aufeinanderfolgenden Messpunkte nehmen monoton zu. Diese Tatsache kann als Kriterium für die Detektion verwendet werden. In Beispiel in Abbildung 55 wird angenommen, dass das Gewicht über fünf Punkte hinweg angehoben werden muss um als konzentrische Spannungsdauer zu zählen. Dabei spielt es eine Rolle, ob vorausschauend die nächsten fünf Punkte oder zurückschauend die vorangegangenen Punkte betrachtet werden.

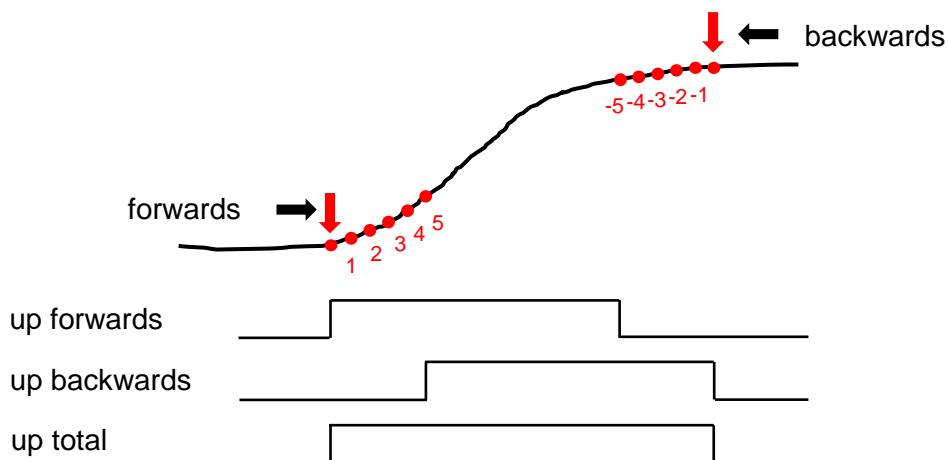


Abbildung 55 Fünf Punkt Kriterium

Um die konzentrische Spannungsdauer richtig zu bestimmen muss einmal vor- und einmal rückwärts ausgewertet und die Ergebnisse anschliessend kombiniert werden (Siehe Abbildung 55). Das entspricht einer logischen OR-Funktion. Für die Bestimmung der exzentrischen Spannungsdauer wird analog vorgegangen.

Isometrisches Training zeichnet sich dadurch aus, dass das der Muskel eine Kraft aufwendet, ohne zu kontrahieren. Das Gewicht steht dabei still oder bewegt sich nur schwach. Als Kriterium für die Bestimmung der isometrischen Spannungsdauer kann darum die absolute aufsummierte Bewegung über eine bestimmte Anzahl Messpunkte verwendet werden. Wird ein bestimmter Schwellenwert unterschritten, werden diese Punkte der isometrischen Spannungsdauer zugeschrieben.

Um die Anzahl Wiederholungen zu bestimmen und die Spannungsdauern den einzelnen Wiederholungen zuschreiben zu können, bietet es sich an Peak Detection zu verwenden. Hierfür wird der ursprüngliche, gefilterte Positionsverlauf verwendet (Siehe Abbildung 56). Als Filter kann zum Beispiel ein Medianfilter verwendet werden. Der Filter glättet die Messkurve und mindert den Einfluss des Messrauschen.

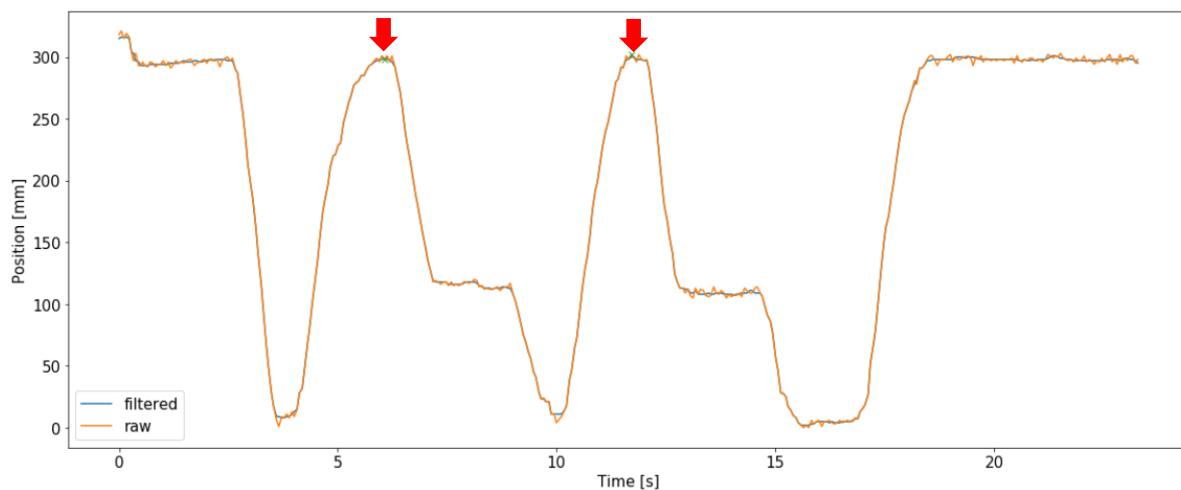


Abbildung 56 Gefilterter Positionsverlauf

Die gefundenen Peaks sind in Abbildung 56 mit roten Pfeilen gekennzeichnet. Die Anzahl Wiederholungen entspricht der Anzahl Peaks plus eins. Mit Hilfe der Position der Peaks können die erhobenen Spannungsdauern nun den Wiederholungen zugeschrieben werden.

Das Vorgehen wird in Abbildung 57 als Flussdiagramm visualisiert.

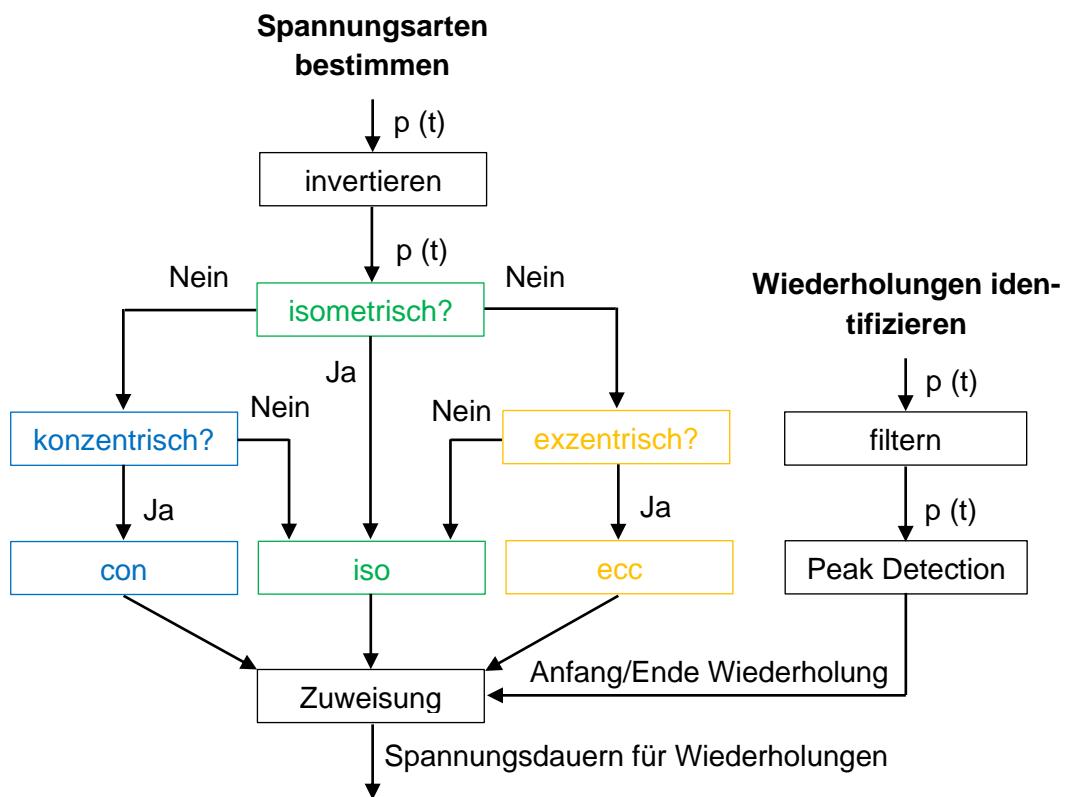


Abbildung 57 Flussdiagramm Auswertung

Das Resultat des Verfahrens ist in Abbildung 58 ersichtlich.

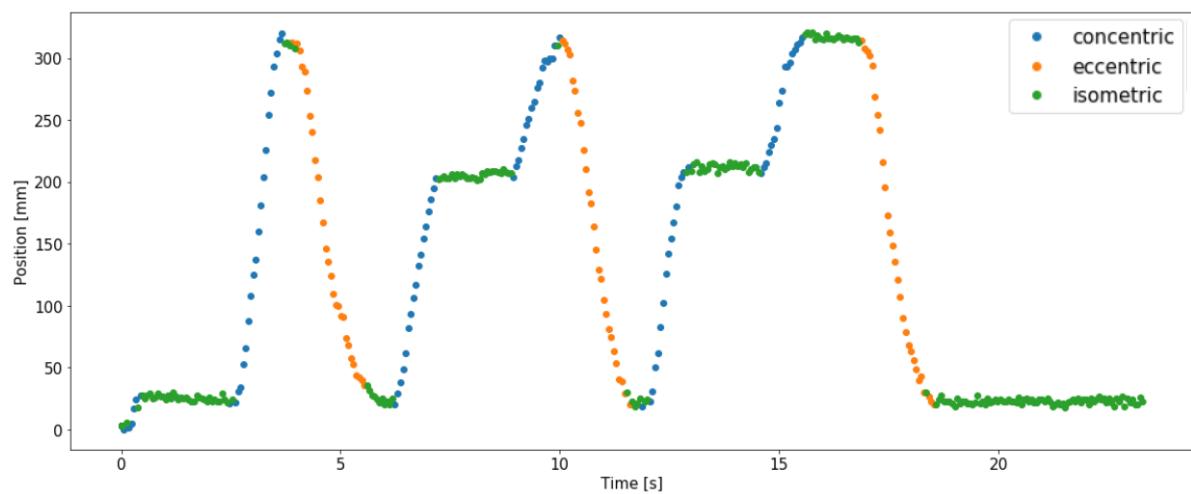


Abbildung 58 Positionsverlauf und Aufteilung auf Spannungsarten

Der für die Bestimmung der isometrischen Spannungsdauer verwendete Schwellenwert ist so zu wählen, dass er dem Rauschen des Sensors Rechnung trägt. Wird er zu gross gewählt werden Teile der konzentrischen und exzentrischen fälschlicherweise der isometrischen Spannungsdauer zugeschrieben. Es ist weiterhin nicht möglich zu bestimmen, ob das Gewicht auf dem Gewichtsblock abgestellt wurde oder stillsteht und vom Muskel gehalten wird.

2.5 Testen

Um den Fehler der bei der Bestimmung der Deskriptoren mit dem Retrofitsystem zu bestimmen wurden Messungen auf dem Teststand gemacht. Diese Testmessungen wurden zusätzlich gefilmt und mit Hilfe von Kinovea (kinovea, 2020) ausgewertet. Dabei wurde die Variante Klon verwendet (Siehe Abbildung 59) und am Teststand wurden Markierungen für die Bestimmung des Bewegungsumfangs angebracht.



Abbildung 59 Testmessung

Die vom Retrofitsystem gemessenen Werte werden in Tabelle 20 gezeigt. Die Spannungs dauern (con/ecc/iso) weichen im Median um 77, 44 und 69 ms von den mit Hilfe des Videos ermittelten Werten ab. Da das System mit etwa 20 Hz misst entspricht das einer Abweichung von weniger als zwei Messpunkten. Der Fehler fällt somit ähnlich gross aus wie bei der Studie mit Smartphones (Siehe Kapitel 1.2.1). Dort kam es im Median zu einer Abweichung von 85 Millisekunden bei der Bestimmung der Spannungsdauern zwischen Messung und Video.

Rep #	Con [s]	Ecc [s]	Iso [s]	ROM [m]
1	1.64	1.6	3.45	0.47
2	1.41	1.6	2.74	0.44
3	1.41	1.59	0.12	0.47
4	1.41	2.7	3.29	0.47
5	2.83	2.3	5.61	0.48

Tabelle 20 Gemessene Werte

Rep #	Con [s]	Ecc [s]	Iso [s]	ROM [m]
1	0.051	0.011	-0.069	-0.03
2	0.077	0.044	0.000	-0.03
3	0.121	-0.088	-0.065	-0.03
4	0.154	-0.077	-0.187	-0.03
5	0.063	0.022	0.267	-0.04

Tabelle 21 Abweichungen zu Video

Der Bewegungsumfang (ROM) wird vom Retrofitsystem um 3 Zentimeter unterschätzt. Das liegt an der gewählten Position des Retrofitsystems. Würde dieses weiter oben angebracht, würde sich die Abweichung weiter verkleinern (Siehe Kapitel 2.1.3). Zwischen dem Retrofitsystem und der höchsten Position des Gewichts sollten immer mindestens 20 Zentimeter liegen.

2.6 Trainingsdokumentation

Dem Sportler soll eine Alternative zur Trainingskarte aus Karton geboten werden. Um möglichst viele Geräte zu unterstützen bietet sich eine Webseite mit Datenbank an. Weil in diesem Projekt schon viel Python-Code geschrieben wurde und eine solche Webseite gut skalieren sollte, wurde Django mit einer MySQL Datenbank verwendet. Die Webseite ist unter www.mytrain.ch erreichbar und wird von pythonanywhere.com gehostet.

Damit die Webseite sowohl mit dem PC als auch mit einem Tablet oder einem Smartphone gut bedienbar ist, wurde sie mit Foundation responsive gemacht. Foundation sorgt dafür, dass die auf dem Gerät zur Verfügung stehende Fläche optimal ausgenutzt wird und sorgt dafür, dass die Eingabeelemente der Webseite auf jedem Gerät gut benutzt werden können. Es werden zudem alle gängigen Browser unterstützt. Die Trainingssatz-Ansicht der Webseite ist in Abbildung 60 ersichtlich. Die Daten stammen hier von der Variante Hall-Array.

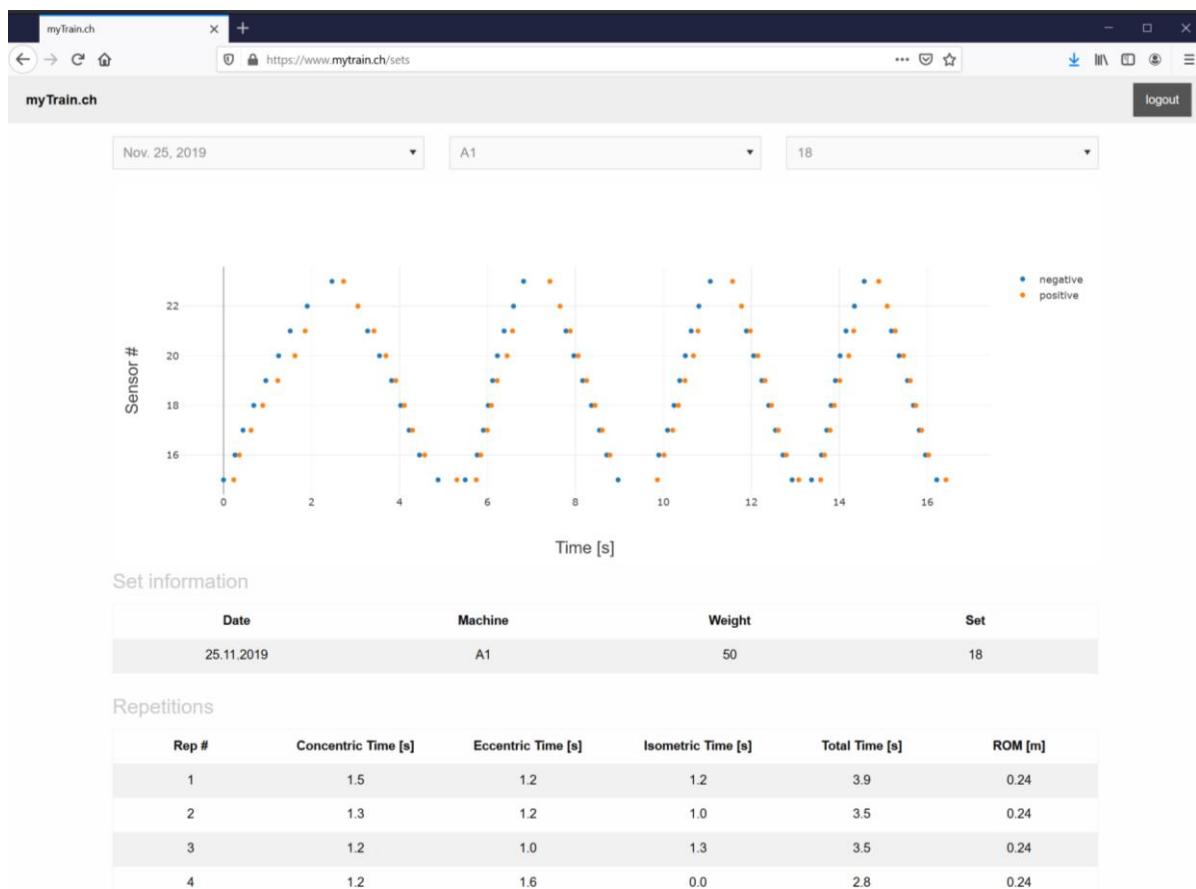


Abbildung 60 Trainingssatz-Ansicht von mytrain.ch

Für die Darstellung der Graphen wird Plotly eingesetzt. Plotly ermöglicht es dem Sportler mit dem Graph zu interagieren. So können Datenreihen ein- oder ausgeblendet werden oder es ist möglich in den Graphen zu zoomen oder den Graphen als Bild zu exportieren.

Sportler können im oberen Bereich der Webseite das Trainingsdatum, die Trainingsmaschine und die Satznummer auswählen. Anschliessend wird dieser Trainingssatz im unteren Bereich dargestellt. Zusätzlich zu den Informationen zum Trainingssatz, werden auch die Anzahl Wiederholungen ausgegeben und die wissenschaftlichen Deskriptoren ausgewiesen.

Ein Beispiel mit einem Datensatz, der von der Variante Klon stammt, wird in Abbildung 61 gezeigt. Diese Zeitserie ist äquidistant, das heisst die Zeiten zwischen den Messpunkten sind konstant.

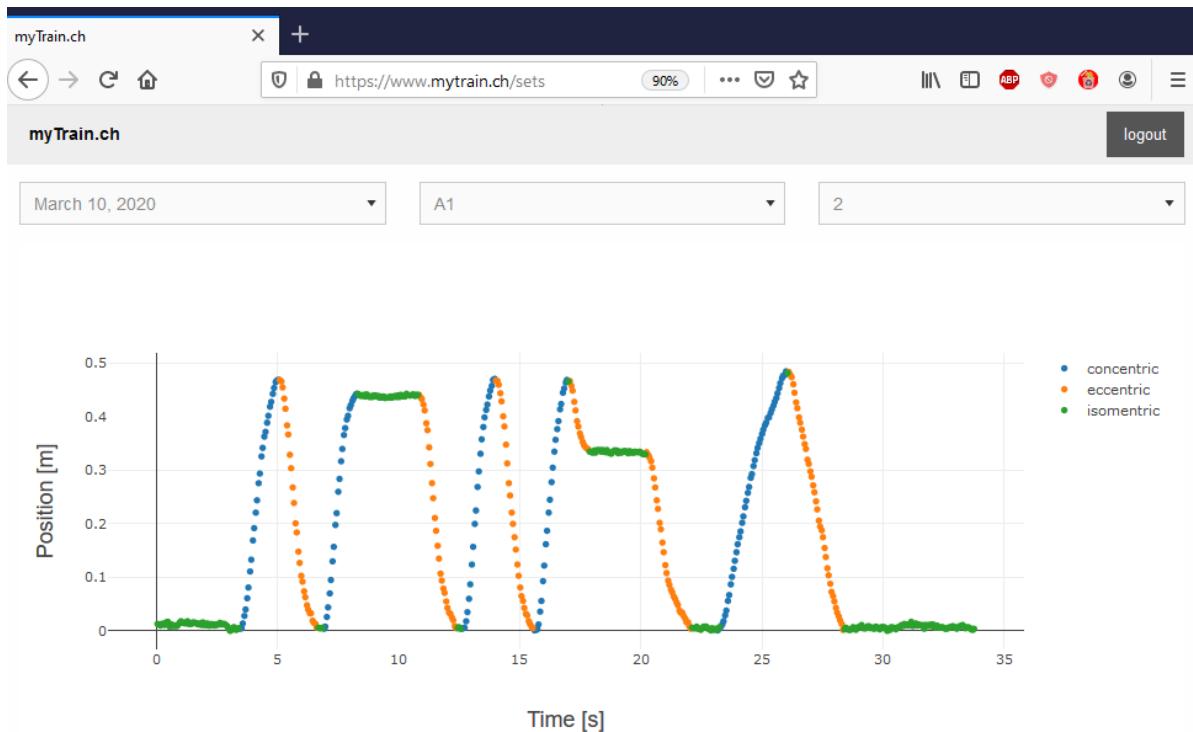


Abbildung 61 Dashboard mit Deskriptoren

Im Zeitverlauf ist zusätzlich ersichtlich welcher Kontraktionsart jeder Messpunkt zugewiesen wird.

2.7 Folgestudie und Projekte

Das Thema Retrofitssysteme für Krafttrainingsmaschinen wird auch in Zukunft relevant bleiben. Nachfolgend werden eine geplante Studie und ein geplantes Projekt vorgestellt.

Zweite ETH-Studie

Aufbauend auf der ersten Studie (Viecelli et al., 2020), bei welcher Krafttraining mit Smartphones aufgezeichnet und ausgewertet wurde, ist eine zweite Studie im Kraftraum des ASVZ am Irchel geplant. Das Ziel dieser Studie ist es, Erfolgsfaktoren sowie erfolgreiche Strategien für den Muskelaufbau durch Krafttraining zu identifizieren.

Das Studiendesign sieht vor, dass die Körperzusammensetzung der Probanden zuerst mit einer Ganzkörper-DXA-Messung festgestellt wird. Anschliessend wird über mehrere Monate hinweg trainiert. Das Training wird dabei mit dem Retrofitssystem von FitTrack™ aufgezeichnet und zur Identifikation der Sportler wird die CampusCard verwendet. Die Trainingsdaten der Probanden werden in MIDATA gespeichert. Schliesslich erfolgt eine zweite Ganzkörper-DXA-Messung. Mit Hilfe dieser beiden Messungen können Änderungen der Körperzusammensetzung aufgezeigt werden, welche sich über die Studienzeit hinweg durch das Krafttraining eingestellt haben. Da auch die Ernährung eine wichtige Rolle spielt, ist geplant auch diese mit einem App zu erfassen und auszuwerten.

Aufgrund der aktuellen Corona-Situation ist es zurzeit leider nicht möglich Studien durchzuführen. Aus diesem Grund verzögert sich der Start dieser Studie voraussichtlich um einige Monate.

Die geplante Studie zeigt, dass aus wissenschaftlicher Sicht einen Bedarf von Retrofitssystemen für Krafttrainingsmaschinen gibt.

Projekt mit Kieser Training

Die Firma Kieser Training™ (Kieser, 2020) ist eine Franchise-Kette für Fitnessstudios. Die Gründung der Aktiengesellschaft erfolgte im Jahr 1967 und es gibt mittlerweile über 150 Fitnessstudios.

Speziell an Kieser Training™ ist, dass sie ihre eigenen Krafttrainingsmaschinen produzieren, welche sich stark von denen der Firma Technogym™ unterscheiden. Mit Hilfe eines magnetischen Adapters (Siehe Abbildung 62 rechts) können die Retrofitssystem Varianten auch an diesen Maschinen befestigt werden.



Abbildung 62 Prototyp an einer Maschine von Kieser Training™

Die Digitalisierung des Kraftraums ist ein Thema, welches auch für Kieser Training™ zusehends an Relevanz gewinnt. Aus diesem Grund ist für das laufende Jahr ein Projekt mit der ETH und Kieser Training™ geplant bei dem es darum geht bestehende Maschinen nachzurüsten und die mechano-biologischen Deskriptoren nach Toigo et al. zu bestimmen. Die Daten sollen dabei in MIDATA gespeichert werden.

2.8 Machine Learning

Das Ver- und Bereinigen von Datensätzen sowie die Extraktion von Features nimmt einen grossen Teil der Zeit der Arbeit eines Data Scientist in Anspruch. Es ist davon auszugehen, dass wenn die relevanten mechano-biologischen Deskriptoren von einem Retrofitssystem bestimmt werden, dieser Aufwand wesentlich kleiner ausfällt. Das liegt daran, dass die Daten schon im vornherein systematisch und in einer einheitlichen Form erfasst werden. Die Deskriptoren können im Idealfall direkt als Features für Machine Learning verwendet werden.

2.9 Zusammenfassung

Die bei der Aufgabenstellung dieser Arbeit formulierten Fragen (Siehe Kapitel 1.3) werden aufgegriffen und beantwortet.

Hauptfrage: Wie ist ein Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen zu konstruieren, welches einen Grossteil der von Toigo et al. beschriebenen Deskriptoren erfasst?

Die in Kapitel 2.3 vorgestellten verschiedenen Varianten adressieren die Hardwareaspekte dieser Frage. Die einzelnen Aufgaben, welche ein Retrofitsystem für die Dokumentation von Krafttraining zu erfüllen hat, wurden aufgelistet und für die Teilaufgaben wurden verschiedene technische Lösungen vorgestellt. Die entwickelten Prototypen setzen auf die im Embedded Bereich verbreiteten Einplatinenrechner der Raspberry- und ESP8266-Reihe und für die Bestimmung der Position werden verschiedenartige Sensoren eingesetzt. Durch den Einsatz von Weg-Sensoren wird die Auswertung des gemessenen Positionsverlaufs des Gewichts deutlich einfacher, als es beim vorangegangenen Projekt mit den Beschleunigungssensoren der Fall war. Das Zählen der Gewichte wird mit Hallsensoren realisiert.

Der Datenfluss ist stark von den gewählten Komponenten und den Anforderungen an die Verzögerung der Übertragung abhängig. Während ein Raspberry Pi Zero die gemessenen Daten direkt in einer Datenbank ablegen kann, ist bei einem Einsatz von einem ESP8266 NodeMCU zwingend ein Gateway erforderlich. Sollen die Daten zeitnah zur Verfügung stehen, wie es für eine Echtzeitauswertung erforderlich ist, muss die Zeit zwischen den Nachrichten klein gewählt werden. Dadurch steigt die Anzahl verschickter Nachrichten, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Paketverlusten steigt. Das muss durch Redundanzmechanismen abgefangen werden, was die erforderliche Paketgrösse vergrössert und zu höheren Übertragungszeiten pro Paket führt. Die Übertragungsqualität kann, wenn nötig durch den Einsatz von externen Antennen und Sendeleistungsstarken Routern zusätzlich verbessert werden.

Die Varianten demonstrieren, dass es möglich ist mit Standardhardware kostengünstige, quelloffene Retrofitsysteme für die Dokumentation von Krafttraining zu bauen.

Kapitel 2.4 und 2.6 widmen sich der Softwarekomponente der Fragenstellung. Die Datenauswertung für die Bestimmung der Deskriptoren nach Toigo et al. (Toigo & Boutellier, 2006) wurde anhand von Daten, die mit einem Hallsensor-Array und einem TOF-Sensor gemessen wurden, durchgespielt. Dabei wurden verschiedene Ansätze für die Datenauswertung vorgestellt. Die Aufbereitung der Daten wurde als Django-Webseite mit einem Dashboard, das dem Sportler unter mytrain.ch zur Verfügung gestellt wird, realisiert. Die Webseite ist so gestaltet, dass sie den zur Verfügung stehenden Platz auf den jeweiligen Geräten bestmöglich ausnutzt und so die Bedienung vereinfacht wird.

Es wurde aufgezeigt, dass es sowohl für die Hard- als auch für die Softwarekomponente der Fragestellung möglich ist, gute Lösungen zu finden. Die Tests in Kapitel 2.5 zeigen, dass die Bestimmung der Deskriptoren zuverlässig und genau erfolgt. Die Spannungsdauern der Kontraktionsarten lassen sich im Median mit einer Genauigkeit von unter 100 Millisekunden bestimmen während der Fehler beim Messen des Bewegungsumfangs kleiner als drei Zentimeter ausfällt.

Nebenfrage: Wie sind die Retrofitsysteme aus Sicht der Interessensgruppen zu beurteilen?

Als Interessensgruppen wurden in dieser Arbeit in Kapitel 2.2 Sportler, Forschende und Fitnesszentrenbetreiber identifiziert. Diese haben spezifische Anforderungen und die entwickelten Varianten (Siehe Kapitel 2.3) werden von ihnen unterschiedlich beurteilt. Es zeigte sich, dass alle Varianten für den Sportler eine Verbesserung gegenüber dem Status Quo darstellen. Aus der Sicht eines Fitnesszentrenbetreibers kommen nur Varianten mit einem ESP-8266 NodeMCU in Frage, weil der Raspberry Pi Zero zu viel Strom verbraucht, um im Betrieb eingesetzt zu werden. Für Forschende ist es wichtig, dass keine Daten verloren gehen können. Aus diesem Grund sollten die Daten lokal gespeichert werden können. Aus diesem Grund kommt nur ein Raspberry Pi Zero in Frage. Zudem gibt es aus einer wissenschaftlichen Sicht hohe Ansprüche an die Genauigkeit der zu bestimmenden Deskriptoren für die Beschreibung des Krafttrainings, was sich auf die Wahl der Sensoren auswirkt.

Es zeigte sich, dass den Ansprüchen der Interessensgruppen am besten entsprochen werden kann, wenn verschiedene Varianten zur Auswahl stehen.

Nebenfrage: Was leistet ein solches System?

Das Retrofitsystem nimmt dem Sportler die Dokumentation des Trainings ab, so dass er sich voll auf das Training konzentrieren kann. Die Trainingsdaten werden visuell aufbereitet, redundant gespeichert und der Zugriff auf die Trainingsdaten ist geräteunabhängig über die Webseite mytrain.ch möglich. Das Retrofitsystem bildet zu dem die Basis für einen Trainingsassistenten, der den Sportler per Feedback unterstützt.

Das Retrofitsystem kann an bestehenden Krafttrainingsmaschinen installiert werden und es können die bereits vorhandenen Systeme für die Identifikation per RFID-Karte benutzt werden. Aus der Sicht eines Fitnesszentrenbetreibers stellt das Retrofitsystem ein USP dar und kann per Lock-In-Effekt Kunden binden.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist ein solches System ein riesiger Fortschritt, weil es erstmals möglich wird Krafttraining automatisiert im grossen Massstab mit einer hohen Genauigkeit zu erfassen. Es ebnet den Weg für ein datengetriebenes Vorgehen.

Nebenfrage: Welche Limitierungen bleiben auch mit einem Retrofitsystem bestehen?

Bei allen entwickelten Varianten muss sich der Sportler identifizieren, in dem er sich per Karte am Gerät anmeldet oder vor dem Training eine App öffnet. Es wäre wünschenswert, wenn ihm dieser Schritt abgenommen werden könnte.

Selbst bei der Verwendung von energieeffizienten Komponenten müssen die Akkus in regelmässigen Abständen gewechselt werden. Im Idealfall würde das Retrofitsystem die benötigte Energie mit Energy Harvesting (zum Beispiel über Induktion) selbst produzieren.

Mit Ausnahme der Muskelerschöpfung können mit dem Retrofitsystem alle von Toigo et al. (Toigo & Boutellier, 2006) vorgeschlagenen Deskriptoren bestimmt werden. Sie lässt sich mit Sensoren leider weiterhin nicht mit vernünftigem Aufwand bestimmen.

3 Trainingsassistent

Während es im vorangegangenen Kapitel 2 um die Dokumentation von Krafttraining ging, geht dieses Kapitel einen Schritt weiter und befasst sich mit der Frage, wie dem Sportler in Echtzeit ein Feedback zum laufenden Training gegeben werden kann.

3.1 Beispiele von bestehenden Trainingsassistenten

Der von Pernek et. al (Pernek et al., 2013) verwendete Trainingsassistent ist in Abbildung 63 ersichtlich. Er nutzt direkt den Bildschirm des Smartphones als Ausgabegerät. Dieser Trainingsassistent hat zwei Ansichten. Die erste (links) zeigt klassische Deskriptoren wie die Anzahl Sets, die Anzahl Wiederholungen sowie das verwendete Gewicht. Die zweite Ansicht (rechts) listet alle geleisteten Wiederholungen auf und gibt ein Feedback wie die Wiederholung absolviert wurden. Dabei wird die Interpretation des Feedbacks durch Symbole und Farben erleichtert.

Activelinxx™ (activelinxx, 2020) hat einen anderen Ansatz gewählt und benutzt einen separaten Bildschirm (Siehe Abbildung 64). Zusätzlich zu den im Trainingsassistenten von Pernek et. al verwendeten Deskriptoren, wird hier auch der Bewegungsumfang ausgewiesen. Des Weiteren wird das Datum des letzten Trainings genannt und im unteren Bereich der Anzeige erfährt der Sportler den aktuellen Stand des Trainings.

Der Trainingsassistent von eGYM™ (eGym, 2020) mit Gamification-Elementen wird in Abbildung 65 gezeigt. Die Ausgabe erfolgt über einen fest an der Maschine verbauten Touchscreen. Sportler können Punkte sammeln in dem sie der vorgegebenen Kurve möglichst genau folgen. Die Idee dahinter ist, den Sportler soweit zu führen, dass er mit einer Sollgeschwindigkeit und einem Sollbewegungsumfang trainiert. Dieser Trainingsassistent wird gerade von Anfängern als sehr positiv wahrgenommen.

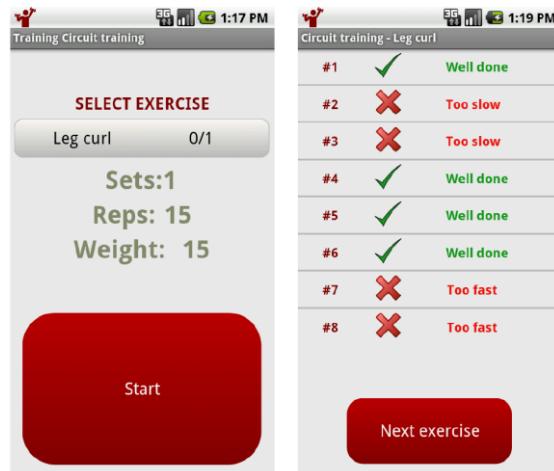


Abbildung 63 GUI (Pernek et al., 2013)



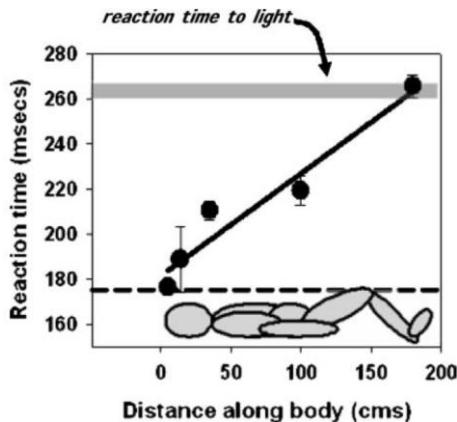
Abbildung 64 Trainingsassistent (activelinxx, 2020)



Abbildung 65 Trainingsassistent (eGym, 2020)

3.2 Reaktionszeiten

Das Live-Feedback kann visuell, auditiv oder haptisch erfolgen. Je nach Art des Signals kann ein Mensch unterschiedlich schnell darauf reagieren.



Die menschliche Reaktionszeit auf ein visuelles Signal weicht nur schwach von der auf ein auditives Signal ab (Siehe Tabelle 22).

Visuelle Reaktionszeit	247 ms
Auditive Reaktionszeit	228 ms
Tabelle 22 Reaktionszeiten (Jain et al., 2015)	

Die Reaktionszeit auf Berührung ist zudem noch vom Berührungsort abhängig (Siehe Abbildung 66).

Abbildung 66 Reaktionszeiten (Harrar & Harris, 2005)

Die Reaktionszeiten unterscheiden sich nur schwach voneinander, so dass es auf Grund der Reaktionszeit keine Einschränkungen für die Art wie das Feedback-Signal übermittelt werden soll.

3.3 Userpräferenzen

Nino van Hooff hat in seiner Masterarbeit Sportler befragt, welche Art von Feedback sie bevorzugen bei einem Trainingsassistenten (Hooff, 2013). Dabei konnten ein bis sieben Punkte vergeben werden. Die Ergebnisse der Umfrage sind in Abbildung 67 ersichtlich.

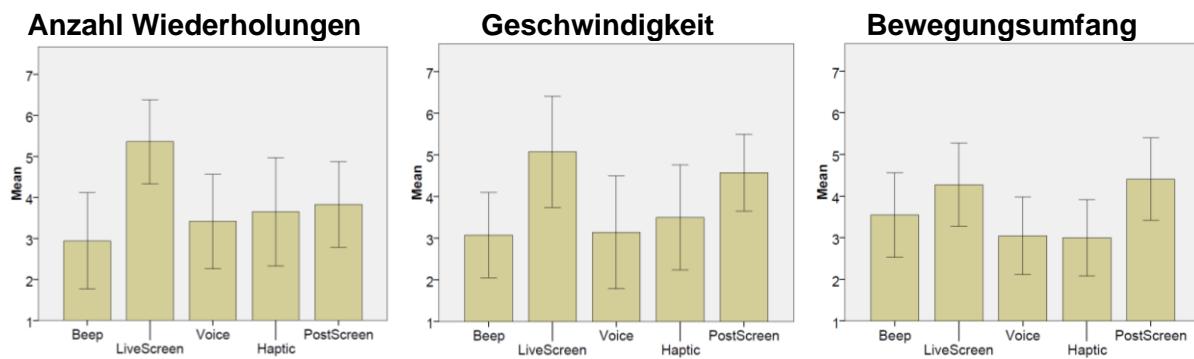


Abbildung 67 Userbefragung zu Feedback (Hooff, 2013)

Es zeigte sich, dass unabhängig von den anzugebenden Deskriptoren, visuelles Feedback bevorzugt wird. Eine mögliche Erklärung ist, dass wir uns aus dem Alltag bereits gewohnt sind visuelle Darstellungen auf dem Smartphone zu betrachten. Eine Gruppe aus Personen ohne Erfahrung mit einem Smartphone zu finden gestaltet sich aufgrund der Omnipräsenz von Smartphones als schwierig.

3.4 Trainingsassistent-Varianten

Im Kapitel 3.1 wurde gezeigt, wie Trainingsassistenten von verschiedenen Firmen umgesetzt wurden. Es wurden zwei Varianten von Trainingsassistenten erarbeitet, welche nachfolgend vorgestellt werden.

3.4.1 Variante Mini-Display

Das Raspberry Pi besitzt einen HDMI-Ausgang, an dem ein Display angeschlossen werden kann und es bietet sich an diesen für die Darstellung des Live-Feedbacks an den Sportler zu verwenden.



Abbildung 68 5 Zoll LCD-Display

Die bestehenden Lösungen (Siehe Kapitel 3.1) zeigen, dass für die Darstellung der Deskriptoren bereits kleine Displays ausreichen. In Abbildung 68 wird das verwendete 5 Zoll LCD-Display gezeigt. Es besitzt einen HDMI-Eingang, wird über USB mit Energie versorgt und kann als Touchscreen verwendet werden.

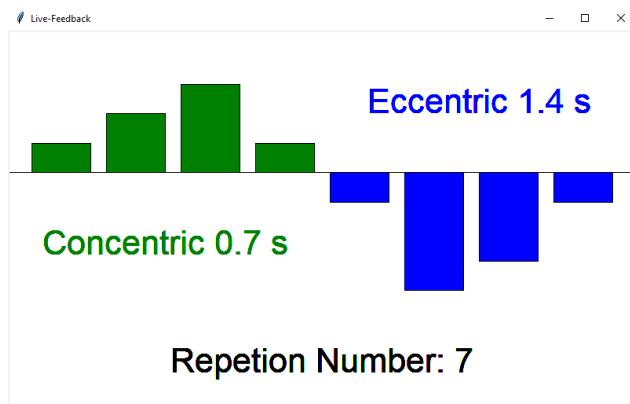


Abbildung 69 Geschwindigkeitsverlauf

Nach jeder Wiederholung wird die letzte Wiederholung auf dem Display dargestellt. Sowohl der konzentrische (grün) als auch der exzentrische (blau) Anteil der Wiederholung werden in 4 Segmente aufgeteilt. Zusätzlich zum Geschwindigkeitsverlauf werden auch die Spannungsdauern der Kontraktionsarten und im unteren Bereich die Anzahl Wiederholungen angezeigt.

Die gemessenen Werte können mit für die Krafttrainingsmaschine hinterlegten Sollwerten verglichen werden. Sollten diese stark über- oder unterschritten werden, kann das dem Sportler auf dem Display angezeigt werden. Dadurch ist es dem Sportler möglich das Trainingverhalten zeitnah anzupassen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

3.4.2 Variante Feedback-Griff

Viele Sportler hören während dem Training mit Bluetooth-Kopfhörern auf dem Smartphone Musik. Es ist davon auszugehen, dass ein Audio-Feedback in einer solchen Situation wegen den Kopfhörern nur schlecht wahrgenommen würde. Die Bildschirmfläche auf dem Smartphone wird dabei durch das Musik-App belegt.

Für solche Situationen wurde ein spezieller Feedback-Griff entwickelt. Er besitzt ein Vibrationsmodul und kann ein haptisches Feedback erzeugen. Zusätzlich ist er mit 3 LEDs in den Farben grün, gelb und rot ausgestattet (Siehe Abbildung 70). Diese Farben sind uns schon aus dem Alltag von Verkehrsampeln vertraut. Wir assoziieren dabei automatisch grün mit gut und rot mit schlecht.

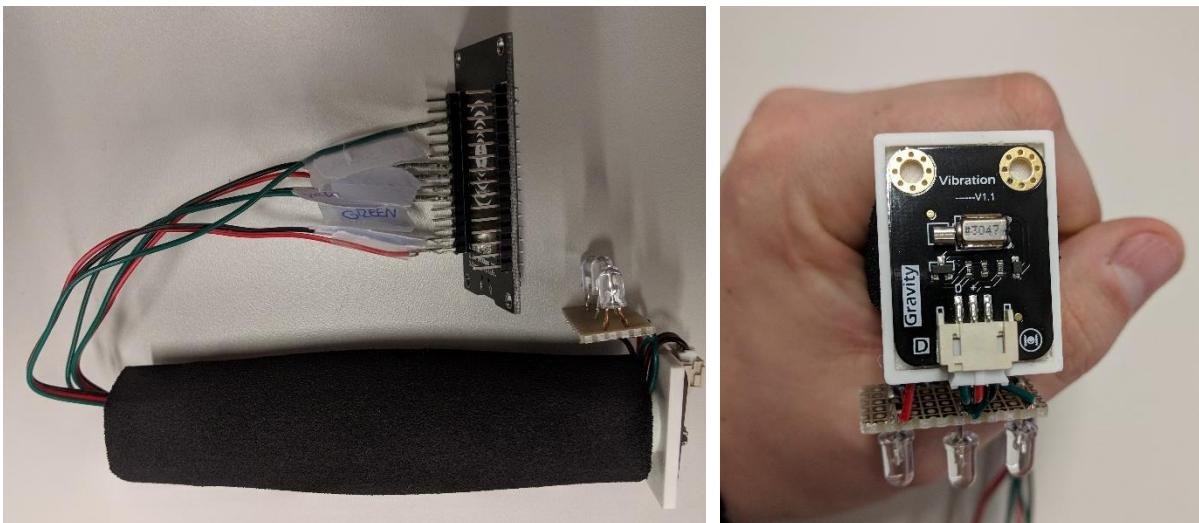


Abbildung 70 Feedback-Griff mit Vibration und LED-Ampel

Ein Beispiel für einen möglichen Datenfluss wird in Abbildung 71 gezeigt. Die Auswertung der Daten geschieht beim Gateway. Hier bietet es sich an ein Raspberry Pi 4 zu verwenden, weil dieses das nebenläufige Ausführen von bis zu vier Threads erlaubt (Siehe Kapitel 2.1.6). Die Dokumentation des Trainings kann auch gleich mit diesem Gateway-Raspberry realisiert werden.

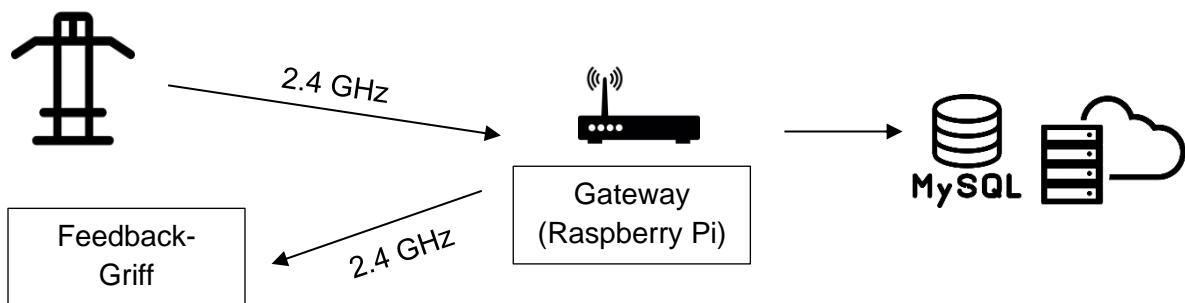


Abbildung 71 Datenfluss

Mittels MQTT-Nachrichten über Wifi können dem Feedback-Griff Befehle geschickt werden (Siehe Tabelle 23).

Topic	Inhalt
handle/data	{"red"} -> Rote LED an für 1 Sekunde
handle/data	{"yellow"} -> Gelbe LED an für 1 Sekunde
handle/data	{"green"} -> Grüne LED an für 1 Sekunde
handle/data	{"vib1"} -> Vibration für 1 Sekunde
handle/data	{"vib2"} -> Vibration für 2 Sekunden
handle/data	{"vib3"} -> Vibration für 3 Sekunden

Tabelle 23 MQTT-Nachrichten

Dem Sportler kann mit der Vibration und der Ampel zum Beispiel signalisiert werden, dass er zu schnell oder zu langsam trainiert. Eine andere denkbare Anwendung wäre ihm zu signalisieren, dass die aktuelle Bewegung nicht den vollen Bewegungsumfang abdeckt.

Die Kosten der verwendeten Komponenten sind in Tabelle 24 aufgelistet. Die Kunststoffteile werden dabei nicht berücksichtigt.

Komponente	Preis [CHF]
ESP8266 NodeMCU	5.00
1 x Vibrationsmodul	4.90
3 x LED	1.50
3 x Widerstand	0.30
Total	11.70

Tabelle 24 Kostenschätzung

Das ESP8266 NodeMCU kann mit einem Akku betrieben werden. Sowohl das Board als auch der Akku würden bei der Endversion im Hohlraum des Griffes untergebracht werden.

3.5 Datenauswertung

Es ist wichtig, dass die Zeit zwischen der Übung und dem Zeitpunkt an dem das Feedback mit den in Kapitel 3.4.1 und 3.4.2 vorgestellten Trainingsassistent-Varianten dem Sportler mitgeteilt wird, möglichst kurz ausfällt. Aus diesem Grund darf die Berechnung des Feedbacks nur wenig Zeit in Anspruch nehmen und muss mit wenig Rechenressourcen realisierbar sein. Die Berechnung des Feedbacks kann entweder auf dem Raspberry, welches als Gateway dient (Siehe Kapitel 2.1.8), oder in der Cloud erfolgen. Dabei werden mindestens zwei Programmstränge benötigt. Dabei empfängt ein Thread die Daten während sie vom anderen ausgewertet werden. Die Messdaten werden dabei von beiden Threads geteilt und mit einer Semaphore wird sichergestellt, dass nur einer gleichzeitig zugreift. Ein typischer Positionsverlauf wird in Abbildung 72 links gezeigt.

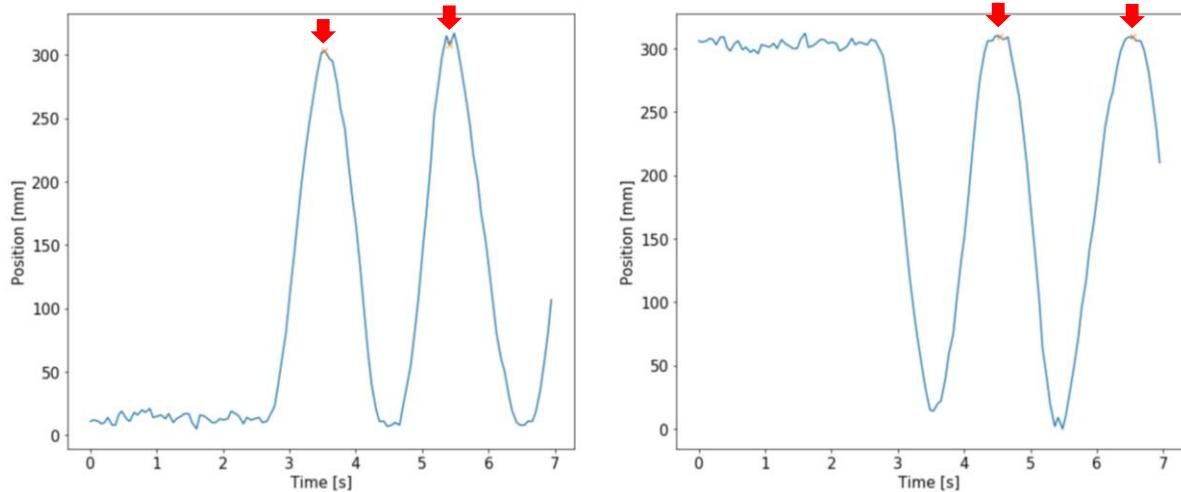


Abbildung 72 Typischer Positionsverlauf

Das Identifizieren der Wiederholungen kann mit Peak Detection umgesetzt werden. Hierfür wird im Positionsverlauf sowie im invertierten Positionsverlauf nach Peaks mit einer ausreichend grossen Prominenz gesucht. In Abbildung 72 sind die gefundenen Peaks mit roten Pfeilen markiert.

Für das Bestimmen der Anzahl Repetitionen sowie der Dauern der konzentrischen und exzentrischen Phasen, kann wie in Kapitel 2.4.1 vorgegangen werden. Die berechneten Deskriptoren sowie der Geschwindigkeitsverlauf können auf dem Mini-Display dargestellt werden. Das hierfür benutzte GUI ist in Abbildung 69 ersichtlich. Es werden jeweils die Deskriptoren der letzten vollführten Wiederholung dargestellt. Die Berechnung des Feedbacks dauert etwa 25 Millisekunden.

Werden gerätspezifische Schwellenwerte für die Spannungsduer einer Kontraktionsart unter- oder überschritten, kann dem User signalisiert werden, dass er zu schnell beziehungsweise zu langsam trainiert. Die Schwellenwerte müssen im Vornherein von einer fachkundigen Person festgelegt werden.

3.6 Gamification

Spielerische Elemente ins Training einzubauen kann Sportler dazu bringen länger zu trainieren. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze.

Punkte sammeln

Bei eGYM™ (Siehe Kapitel 3.1) werden Punkte für das Absolvieren von Übungen verteilt. Weil die Muskeln während dem Training ermüden, fällt es dem Sportler gegen Ende eines Satzes zusehends schwerer noch eine weitere Wiederholung zu absolvieren. Um den Sportler dazu zu bringen bis zur totalen Erschöpfung zu trainieren, könnten es für Wiederholungen am Ende eines Satzes mehr Punkte geben. Das wäre ein motivationstechnischer Fortschritt gegenüber den bestehenden Lösungen.

Abzeichen

Eine Möglichkeit, um Sportler langfristig zu motivieren ist es Abzeichen zu vergeben. Sobald ein bestimmtes Kriterium erfüllt ist, bekommt der Sportler dann ein Abzeichen, dass auf seinem Profil sichtbar ist. Das Bekommen eins Abzeichens stellt ein Erfolgserlebnis dar und kann mit einer Animation verbunden werden. Das Konzept von Abzeichen wird von FitBit™ (FitBit, 2020) erfolgreich eingesetzt.

Herausforderungen

Bei Herausforderungen gilt es genauso wie bei Abzeichen ein bestimmtes Kriterium zu erfüllen. Dieses kann auch durch den Sportler selbst vorgegeben werden und zeitlich beschränkt sein. Herausforderungen ermöglichen es dem Sportler sich SMART-Ziele zu setzen und so langfristig erfolgreich zu sein.

Wettkampf

Manche Sportler messen sich gerne mit anderen Sportlern. Als Kriterium könnte zum Beispiel die geleistete Hubarbeit an einer Krafttrainingsmaschine verwendet werden. Diese kann mit Hilfe des Hubwegs und dem verwendeten Gewicht berechnet werden. Für jede Maschine würde es dann ein Leaderboard mit den zehn besten Tagesleistungen geben.

Es wäre auch denkbar, dass ganze Fitnesszentren in einem zeitlich beschränkten Wettbewerb gegen andere Fitnesszentren antreten. Hierbei müsste allerdings eine Normalisierung der Daten bezüglich den Anzahl Sportler stattfinden oder nur die Maximalwerte miteinander verglichen werden. Durch solche Wettbewerbe könnte der Teamgeist der Sportler gestärkt werden.

3.7 Zusammenfassung

Die bei der Aufgabenstellung dieser Arbeit formulierten Fragen werden aufgegriffen und beantwortet.

Hauptfrage: Wie kann ein Assistent für Krafttraining umgesetzt werden?

Der Trainingsassistent ermöglicht es dem Sportler ein zeitnahe Feedback bezüglich des aktuellen Trainings zu erhalten. Während die Variante Mini-Display bestehenden Produkten ähnelt, schlägt der Feedback-Griff einen komplett anderen Weg ein.

Die gemessenen Daten werden jeweils zeitnah verarbeitet und der Sportler erhält ein Feedback mit Trainingsdeskriptoren.

Nebenfrage: Was sind die Anforderungen an einen Trainingsassistenten aus der Sicht eines Sportlers und wie kann ihnen bestmöglich entsprochen werden?

Gemäss Umfrage (Siehe Kapitel 3.3) wird ein visuelles Feedback von Sportlern bevorzugt. Da sich das Smartphone nicht immer im Sichtbereich befindet, bietet sich ein kleines mobiles Display an. Ein solches Display wird bei der Variante Mini-Display verwendet. Alternativ zu einem visuellen Feedback auf einem Display kann das Feedback auch über Vibration wie bei der Variante Feedback-Griff erfolgen.

Die Tatsache, dass in bestehenden Produkten bereits Gamification-Elemente eingesetzt werden lässt vermuten, dass es eine Nachfrage nach Gamification im Krafttrainingsbereich gibt. Für die Interaktion mit dem Sportler eignet sich ein Display, wie es bei der Variante Mini-Display verwendet wird, sehr gut.

Nebenfrage: Was kann ein solcher Trainingsassistent?

Weicht das Trainingsverhalten von den vordefinierten Empfehlungen ab, kann das mit einem regelbasierten Ansatz festgestellt werden. Der Sport wird daraufhin umgehend auf diese Abweichung aufmerksam gemacht und kann sein Verhalten entsprechend anpassen. Gerade für Anfänger ist ein solches Feedback sinnvoll, weil es Sicherheit gibt und sich falsche Muster nicht einschleifen können.

Mit Gamification ist es möglich den Sportler mit zusätzlichen Erfolgserlebnissen langfristig zu motivieren, was gerade für eine jüngere Zielgruppe attraktiv ist.

Nebenfrage: Was ist weiterhin nicht möglich?

Durch die Übertragung und Verarbeitung der gemessenen Daten verbleibt eine Verzögerung zwischen dem Handeln des Sportlers und dem Feedback. Würde der Positionsverlauf für die nahe Zukunft mit einem mathematischen Modell simuliert, könnte diese Verzögerung weiter reduziert werden.

Um Verletzungen zu vermeiden ist es wichtig, dass sich der Sportler richtig auf dem Gerät positioniert. Wichtig ist insbesondere, dass die Bewegungsachsen der Krafttrainingsmaschine mit denen der Gelenke übereinstimmen. Für den Trainingsassistent ist es nicht möglich eine falsche Positionierung des Sportlers auf dem Gerät zu detektieren. Eventuell wäre es möglich dieses Problem mit einer Kamera und Computer Vision anzugehen.

4 Fazit

4.1 Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist mit Sensoren und Einplatinenrechner Retrofitssysteme zu bauen, die den Sportler im Kraftraum unterstützen. Bestehende Krafttrainingsmaschinen lassen sich nachträglich mit solchen eingebetteten IoT-Retrofitssystemen nachrüsten. Diese Retrofitssysteme machen den Weg frei für die Digitalisierung des Kraftraums.

Die Teilaufgaben eines solchen Retrofitssystems wurden aufgelistet und technische Lösungen vorgestellt. Um den Anforderungen der relevanten Interessensgruppen bestmöglich zu entsprechen wurden verschiedene Varianten entwickelt. Es stellt sie sich heraus, dass Aspekte wie die Energieeffizienz von hoher Wichtigkeit sind. Während für die Erfassung des Positionverlaufs des Gewichts verschiedene Sensoren in Frage kommen, drängen sich Hallsensoren für das Zählen der Gewichtsscheiben auf. Die Identifikation des Sportlers an der Krafttrainingsmaschine kann per RFID-Karte oder über Bluetooth geschehen.

Das Retrofitssystem hat zwei Aufgaben: Erstens soll es das Training mit den von Toigo et al. (Toigo & Boutellier, 2006) verwendeten Deskriptoren dokumentieren. Zweitens gibt es dem Sportler während dem Training per Trainingsassistent in Echtzeit ein Feedback zum laufenden Training. Wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, lässt sich beides mit preiswerten Standardkomponenten realisieren.

Die vorgestellten Varianten heben sich von bestehenden Produkten dadurch ab, dass sie schnell montierbar, preisgünstig und quelloffen sind. Das macht sie für Fitnesszentrenbetreiber interessant, die die hohen Kosten von bestehenden Produkten scheuen. Weil die Varianten preisgünstig und quelloffen sind, bilden sie auch eine gute Basis für weitere Studentenprojekte, die häufig mit einem kleinen Budget auskommen müssen. Da Einplatinenrechner der Raspberry- und ESP8266-Reihe eingesetzt werden, können Entwickler zudem auf eine grosse Community zurückgreifen.

Für die Forschung können solche Retrofitssysteme von grosser Bedeutung sein. Es wird erstmals möglich, mit kleinem Aufwand, Studien mit Hunderten von Probanden durchzuführen. Die für die Dokumentation des Trainings nötigen Deskriptoren werden dabei einheitlich erfasst, was die Aufbereitung und Verarbeitung der Daten vereinfachen. Ein so entstandener Datensatz erlaubt es tiefere Einblicke in das Trainingsverhalten von Sportler zu erlangen. Es ist gut denkbar, dass sich aufgrund der Daten auch Trainingsstrategien und personalisierte Trainingsempfehlungen ableiten lassen.

In einer Gesellschaft, die zusehends mit den Folgen des demographischen Wandelns konfrontiert wird, hat Krafttraining ein grosses Potential, um sich positiv auf die Gesundheit auszuwirken. Gelingt es durch eine Digitalisierung des Kraftraums neue Erkenntnisse zu gewinnen und zusätzliche Sportler für Krafttraining zu begeistern, ist das ein Gewinn für alle.

4.2 Kritische Reflexion

Bei einer kritischen Reflexion fallen die folgenden Punkte auf:

Definition der Übung

In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Bewegung des Sportlers direkt an die Auf- und Abbewegung des Gewichts gekoppelt ist. Gemessen wird dabei nur die Bewegung des Gewichts und nicht die der Muskeln selbst. Diese Annahme stellt eine Vereinfachung dar, deren Zutreffen es im Einzelfall zu überprüfen gilt.

Bestimmen der Deskriptoren

Das Zählen der Gewichtsscheiben mit Hallsensoren funktioniert sehr zuverlässig, allerdings werden hierfür Magnete benötigt. Würde eine induktive Messmethode eingesetzt, wie sie FitTrack™ verwendet, könnte auf die Magnete verzichtet werden.

Bei der Bestimmung der Position kann beim Einsatz von vielen Hallsensoren oder Magneten eine hoch viel genauere Auflösung erreicht werden, als sie mit üblichen TOF-Sensoren möglich ist. Hier muss aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen festgelegt werden, was für die spezifische Situation sinnvoll ist.

Dedizierte Hardware

Mit dem Raspberry Pi ist bei der Entwicklung von Prototypen viel Flexibilität vorhanden. Diese wird allerdings mit einem grossen Overhead erkauft. So ist der Leistungsverbrauch von einem Watt verhältnismässig hoch. Der Schritt von Raspberry zu ESP8266 als Plattform ist ein Schritt in Richtung dedizierter Hardware. Das Entwickeln ist hier allerdings nur noch mit C++ möglich. Es ist davon auszugehen, dass das System noch effizienter gemacht werden könnte, wenn keine Standardhardware und stattdessen dedizierte Hardware verwendet würde

Sicherheit

Die Raspberry Pi sollten bei einem produktiven Einsatz gehärtet werden. Das heisst sie sollten nach einem Guide so aufgesetzt werden, dass es ein Angreifer möglichst schwer hat, wenn er das System manipulieren oder übernehmen will.

Die MQTT-Verbindungen sollten bei einem produktiven Einsatz mit TLS verschlüsselt werden. So kann verhindert werden, dass die verschickten Pakete von einem Dritten mitgelesen werden können.

User-Akzeptanz

Damit ein solches Retrofitsystem von den Sportlern akzeptiert und benutzt wird, muss es optimal auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sein. Aufgrund von Zeit- und Ressourcenrandbedingungen wurde bei der Entwicklung der Prototypen kein Feedbackloop mit Kunden durchgeführt.

4.3 Ausblick

Die entwickelten Retrofitsysteme funktionieren, sind aber Handanfertigungen. Wird das in Kapitel 2.7 beschriebene Projekt mit Kieser Training™ durchgeführt, sollte erst eine Variante bestimmt werden, welche den Anforderungen von Kieser Training™ und ihren Kunden am besten entspricht. Anschliessend sollten PCBs für das Zählen der Gewichte angefertigt werden. Dadurch wird das Herstellen einer Kleinserie wesentlich vereinfacht. Die Kleinserie sollte dann unter realen Bedingungen im Feld getestet werden. Die dabei gesammelten Erfahrungen helfen bei der iterativen Verbesserung der Retrofitsysteme.

Parallel zur Hardwareentwicklung sollte auch eine Lösung für die sichere persistente Speicherung der Trainingsdaten erarbeitet werden. Diese muss den strikten Vorgaben der Datenschutzgesetze gerecht werden.

Das Ziel sollte sein, dass am Ende ein pfannenfertiges Produkt herauskommt, das von Laien ohne Fachkenntnisse installiert werden kann und sich optimal in die existierenden Systeme von Kieser Training™ integriert.

Sollte das Projekt mit Kieser Training™ nicht zu Stande kommen, gibt es immer noch die Möglichkeit selbst eine Kleinserie zu produzieren und diese über Kickstarter per Crowdfunding zu verkaufen. Es ist davon auszugehen, dass es danach von anderen Firmen kopiert wird und so seinen Weg auf den Markt findet.

4.4 Schlusswort

Die erarbeiteten Varianten für Retrofitsysteme und Trainingsassistenten lassen sich aus Standardkomponenten sehr preiswert zusammenstellen und ermöglichen den Bau von quelloffenen Systemen. Diese nehmen dem Sportler die Dokumentation des Trainings ab und haben das Potential die Forschung im Bereich Krafttraining weiter voranzutreiben. Es wäre schade, wenn diese Idee nicht weiterverfolgt würde.

5 Literaturverzeichnis

- A1120. (2020). <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/0d88/0900766b80d8805b.pdf>
- activelinxx. (2020). <https://www.activelinxx.com/de/services>
- Adafruit. (2020). *Adafruit VL53L0X Time of Flight Distance Sensor - ~30 to 1000mm.* <https://www.adafruit.com/product/3317>
- allegro. (2020). <https://www.allegromicro.com/en/insights-and-innovations/technical-documents/hall-effect-sensor-ic-publications/integrating-hall-effect-magnetic-sensing-technology-into-modern-household-appliances>
- Baumgartner, R. N., Koehler, K. M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S. B., Ross, R. R., Garry, P. J., & Lindeman, R. D. (1998). Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American Journal of Epidemiology*, 147(8), 755–763. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009520>
- BFS. (2017). *Schweizerische Gesundheitsbefragung*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/sgb.html>
- Cruz-Jentoft, A. J., Landi, F., Schneider, S. M., Zúñiga, C., Arai, H., Boirie, Y., Chen, L.-K., Fielding, R. A., Martin, F. C., Michel, J.-P., Sieber, C., Stout, J. R., Studenski, S. A., Vellas, B., Woo, J., Zamboni, M., & Cederholm, T. (2014). Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age and Ageing*, 43(6), 748–759. <https://doi.org/10.1093/ageing/afu115>
- Datasheet Sharp. (2020). https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28997-Sharp-Datasheet-GP2Y0A02YK_e.pdf
- EF Computer. (2020). <https://efcomputer.net.au/blog/esp8266-deep-sleep-mode/>
- eGym. (2020). eGym. <https://egym.com/de/>
- Electronics tutorials. (2013, August 13). *Basic Electronics Tutorials*. <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
- FitBit. (2020). <https://www.fitbit.com>
- FitTrack. (2020). Fittrack. <https://fittrack.io/>
- Geerling. (2020). <https://www.jeffgeerling.com/blogs/jeff-geerling/raspberry-pi-zero-power>
- Harrar, V., & Harris, L. R. (2005). Simultaneity constancy: detecting events with touch and vision. *Experimental Brain Research*, 166(3–4), 465–473. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-2386-7>
- Heikki, P. (2009). *Method, system and measuring device for measuring athletic performance carried out with weight stack unit and weight stack unit* (European Union Patent No. EP2040807A1). <https://patents.google.com/patent/EP2040807A1/es>
- Hooff, N. (2013). https://www.ai.rug.nl/~mwiering/Thesis_nino_van_hooff.pdf
- Jain, A., Bansal, R., Kumar, A., & Singh, K. D. (2015). A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *International Journal of Applied & Basic Medical Research*, 5(2), 124–127. <https://doi.org/10.4103/2229-516X.157168>
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2000). Progressive Resistance Exercise and Resting Blood Pressure. *Hypertension*, 35(3), 838–843. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.35.3.838>
- Kieser. (2020). <https://www.kieser-training.ch>
- kinastic. (2020). <https://www.kinastic.com/>
- kinovea. (2020). <https://kinovea.org/>

- Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Lott, M. E., Lemmer, J. T., Ivey, F. M., Roth, S. M., Rogers, M. A., Fleg, J. L., & Hurley, B. F. (1999). Strength training normalizes resting blood pressure in 65- to 73-year-old men and women with high normal blood pressure. *Journal of the American Geriatrics Society*, 47(10), 1215–1221.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1999.tb05202.x>
- MAX306. (2020). <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX306-MAX307.pdf>
- Mehta, M. (2011). *ESP 8266: A BREAKTHROUGH IN WIRELESS SENSOR NETWORKS AND INTERNET OF THINGS*. <http://paper.researchbib.com/view/paper/74997>
- Midata. (2020). <https://www.midata.coop/>
- Mooney, V., Kron, M., Rummerfield, P., & Holmes, B. (1995). The effect of workplace based strengthening on low back injury rates: A case study in the strip mining industry. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 5(3), 157–167.
<https://doi.org/10.1007/BF02109956>
- Pernek, I., Hummel, K., & Kokol, P. (2013). Exercise repetition detection for resistance training based on smartphones. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17.
<https://doi.org/10.1007/s00779-012-0626-y>
- Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., Limacher, M., Piña, I. L., Stein, R. A., Williams, M., & Bazzarre, T. (2000). Resistance Exercise in Individuals With and Without Cardiovascular Disease. *Circulation*, 101(7), 828–833. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.7.828>
- raspberrypi-spy. (2020). <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2015/09/how-to-use-a-hall-effect-sensor-with-the-raspberry-pi/>
- Rosenberg, I. H. (1989). Summary comments. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 50(5), 1231–1233. <https://doi.org/10.1093/ajcn/50.5.1231>
- Shen, C., Ho, B.-J., & Srivastava, M. (2018). MiLift: Efficient Smartwatch-Based Workout Tracking Using Automatic Segmentation. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(7), 1609–1622. <https://doi.org/10.1109/TMC.2017.2775641>
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
- Viecelli, C., Graf, D., Aguayo, D., Hafen, E., & Füchslin, R. M. (2020). Using smartphone accelerometer data to obtain scientific mechanical-biological descriptors of resistance exercise training. *PLOS ONE (Unpublished)*.
- WHO. (2020). WHO. WHO; World Health Organization. https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_adults/en/
- Winett, R. A., & Carpinelli, R. N. (2001). Potential health-related benefits of resistance training. *Preventive Medicine*, 33(5), 503–513. <https://doi.org/10.1006/pmed.2001.0909>

5.1 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Deskriptoren zur wissenschaftlichen Beschreibung von Krafttraining (Toigo & Boutellier, 2006)	6
Abbildung 2 System von FitTrack™	8
Abbildung 3 Verkabelung und Batterienfach.....	9
Abbildung 4 Kartenleser und Registrierterminal.....	9
Abbildung 5 Bild aus dem Patent.....	10
Abbildung 6 SmartPin von Kinastic™	10
Abbildung 7 Sticker	10
Abbildung 8 eGYM™ Trainingsmaschine (eGym, 2020).....	11
Abbildung 9 eGYM™ App	11
Abbildung 10 Typische Kraftrainingsmaschine von Technogym™	13
Abbildung 11 Zwischenfspalt Gewicht zu Wand	14
Abbildung 12 Hall-Effekt (Electronics tutorials, 2013)	15
Abbildung 13 Hallsensor Typ A1120 (A1120, 2020)	15
Abbildung 14 Schaltplan (raspberrypi-spy, 2020)	16
Abbildung 15 Spannungsverlauf Oszilloskop	16
Abbildung 16 Ausrichtung Hallsensor (<i>allegro</i> , 2020)	16
Abbildung 17 Stromkurve (A1120, 2020)	17
Abbildung 18 Adafruit VL53L0X (Adafruit, 2020)	18
Abbildung 19 Positionsverlauf mit TOF gemessen	18
Abbildung 20 Maximale Messdistanz mit 33 ms Zeitbudget (Adafruit, 2020)	18
Abbildung 21 GP2Y0A02YK0F (Datasheet Sharp, 2020)	19
Abbildung 22 Skizze und Prototyp	20
Abbildung 23 Positionsverlauf	20
Abbildung 24 Inkrementelle Messmethode	21
Abbildung 25 Zeitlicher Verlauf mit zwei Magneten	22
Abbildung 26 Teststand für Gewichtsscheiben	23
Abbildung 27 MAX306CPI (MAX306, 2020)	24
Abbildung 28 CD74HC4067	24
Abbildung 29 Teststand für das Zählen der Gewichtsscheiben.....	24
Abbildung 30 Vorgehensweise Gewichte zählen	25
Abbildung 31 Useridentifikation per Bluetooth-Signalstärke.....	26
Abbildung 32 MFRC-522	26
Abbildung 33 Raspberry Zero W	27
Abbildung 34 Raspberry Pi 4	28
Abbildung 35 ESP8266 NodeMCU	29
Abbildung 36 USB-Wattmeter.....	29
Abbildung 37 Skizze für Verbrauch.....	30
Abbildung 38 Power Bank von XQISIT™	30
Abbildung 39 Szenarien für Datenfluss.....	31
Abbildung 40 Logo	33
Abbildung 41 Logo (Midata, 2020).....	33
Abbildung 42 Variante Scheibenzähler	38
Abbildung 43 ESP8266 NodeMCU	38
Abbildung 44 Hall-Array Prototyp	40

Abbildung 45 Innenansicht	41
Abbildung 46 Prototyp Eco und Magnethalter.....	42
Abbildung 47 Geöffneter Prototyp und RFID-Modul.....	43
Abbildung 48 Prototyp mit TOF-Sensor und RFID-Modul	44
Abbildung 49 Prototyp mit TOF-Sensor und RFID-Modul	45
Abbildung 50 Rohdaten	47
Abbildung 51 Skizze	47
Abbildung 52 Positions- und Geschwindigkeitsverlauf.....	48
Abbildung 53 Bestimmen der Kontraktionsarten	49
Abbildung 54 Invertierter Positionsverlauf.....	50
Abbildung 55 Fünf Punkt Kriterium	50
Abbildung 56 Gefilterter Positionsverlauf	51
Abbildung 57 Flussdiagramm Auswertung.....	52
Abbildung 58 Positionsverlauf und Aufteilung auf Spannungsarten	52
Abbildung 59 Testmessung	53
Abbildung 60 Trainingssatz-Ansicht von mytrain.ch.....	54
Abbildung 61 Dashboard mit Deskriptoren	55
Abbildung 62 Prototyp an einer Maschine von Kieser Training™	56
Abbildung 63 GUI (Pernek et al., 2013)	59
Abbildung 64 Trainingsassistent (activelinxx, 2020)	59
Abbildung 65 Trainingsassistent (eGym, 2020)	59
Abbildung 66 Reaktionszeiten (Harrar & Harris, 2005)	60
Abbildung 67 Userbefragung zu Feedback (Hooff, 2013)	60
Abbildung 68 5 Zoll LCD-Display	61
Abbildung 69 Geschwindigkeitsverlauf	61
Abbildung 70 Feedback-Griff mit Vibration und LED-Ampel	62
 Tabelle 1 Kernfunktionen.....	13
Tabelle 2 Messungen mit Adafruit VL53L0X.....	19
Tabelle 3 Energieverbrauch von verschiedenen Modellen (Geerling, 2020)	27
Tabelle 4 Kennzahlen.....	27
Tabelle 5 Kennzahlen.....	28
Tabelle 6 Kennzahlen.....	29
Tabelle 7 Energieverbrauch nach Betriebsmodus (EF Computer, 2020)	29
Tabelle 8 MQTT-Nachrichten	31
Tabelle 9 Variantenvergleich	37
Tabelle 10 Kostenschätzung als Stand Alone System	39
Tabelle 11 Anschluss an bestehendes System	40
Tabelle 12 Datenblatt	41
Tabelle 13 Kostenschätzung	41
Tabelle 14 Datenblatt	43
Tabelle 15 Kostenschätzung	43
Tabelle 16 Gemessene Werte für die Übertragungscharakteristik	45
Tabelle 17 Datenblatt	45
Tabelle 18 Datenblatt	46
Tabelle 19 Kostenschätzung Variante Klon	46

Tabelle 20 Gemessene Werte	53
Tabelle 21 Abweichungen zu Video.....	53
Tabelle 22 Reaktionszeiten (Jain et al., 2015)	60
Tabelle 23 MQTT-Nachrichten	63
Formel 1 Hallspannung	15

6 Anhang

6.1 Aufgabenstellung

Titel: Retrofitsystem für Krafttrainingsmaschinen

Student: David Graf (grafdav@students.zhaw.ch oder grfd@zhaw.ch)

Projektpartner: Claudio Viecelli, Institut für molekulare Systembiologie ETH Zürich

Hauptbetreuer: Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Anzahl Credits: 27 ECTS

Dauer: 1.10.2019 bis 1.10.2020

Beschreibung

Für die Dokumentation des Trainingsverlaufs beim Training mit Krafttrainingsmaschinen werden bisher typischerweise Trainingskarten aus Papier oder Karton eingesetzt. Die Einstellungen für die Trainingsgeräte sowie die verwendeten Gewichte, die Anzahl Wiederholungen und die Anzahl Trainingssätze werden darauf eingetragen. Diese Informationen sind jedoch unzureichend, um ein Krafttraining wissenschaftlich abzubilden und/oder Trainingsstudien miteinander zu vergleichen. Gemäss Toigo et al. [1], werden hierzu mindestens 13 Messgrössen benötigt, so zum Beispiel die komplette Spannungsdauer (engl. time under tension) oder die zeitliche Verteilung der Kontraktionsarten (zum Beispiel konzentrisch vs. exzentrisch).

Erwartete Resultate

Es soll ein Prototyp für ein Retrofitsystem entwickelt werden, welches mit geeigneten Sensoren (zum Beispiel Infrarotsensoren oder Hall-Sensoren) das Training mit Kraftgeräten erfassen kann. Die Daten sollen aufbereitet und in einer zentralen Datenbank gespeichert werden. Die aufbereiteten Daten werden den Usern über ein GUI verfügbar gemacht. Es sollen möglich viele der von Toigo et al. [1] definierten Parametern erfasst werden.

Die Daten eignen sich für statistische Verfahren und Machine Learning. Es soll untersucht werden welche zusätzlichen Informationen aus den Daten extrahiert werden können.

Abgrenzung

Bei der vorangegangenen Studie und Vertiefungsarbeit wurden Smartphones für die eingesetzt. In dieser Arbeit wird auf Hardware gesetzt, die speziell für diesen Anwendungsfall massgeschneidert ist.

Literatur

- [1] M. Toigo und U. Boutellier, New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations, European Journal of Applied Physiology, Band 97, Nummer 6, August 2006

6.2 Protokolle

Sitzungsprotokoll

Datum: 16.10.2019

Zeit: 11:00

Ort: TP217

Anwesende: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Es gibt einen ersten, rudimentären Prototyp für das Retrofitsystem. Der Prototyp besteht aus einem Raspberry Zero und einem Hallsensor-Array. Der Prototyp zeichnet die Signale der Hallsensoren auf. Gibt es seit 5 Sekunden keine Änderung, wird der Datensatz per MQTT über Wifi an einen anderen PC mit einer bestimmten IP-Adresse gesendet. Der PC generiert anschliessend mit plot.ly einen Plot der Daten.

Sitzungsverlauf

Es wurde der aktuelle Stand der Arbeit präsentiert und aufkommende Fragen beantwortet. Anschliessend wurden die nächsten Schritte und der Termin der nächsten Sitzung festgelegt.

Besprochene Punkte

Das vom Hallsensor generierte Signal sollte mit einem Oszilloskop sichtbar gemacht und beschrieben werden. Spielt Restmagnetisierung eine Rolle?

Im Fitnessstudio kann es rau zu und her gehen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass sich die Magnete nie von den Gewichtsscheiben lösen.

Wird ballistisch trainiert können hohe Geschwindigkeiten resultieren. Das sollte auch beim Teststand möglich sein. Ev. könnte der Teststand automatisiert werden?

Es ist unklar, welche Art der Usererkennung (Karte, Smartphone, Bluetooth etc.) von den Sportlern akzeptiert wird. Ein Fragebogen könnte darüber Auskunft geben, welches Verfahren bevorzugt werden.

Nächste Schritte:

- Verbessern des Prototypen (Verschalung und Firmware)
- Primitive Auswertung (Matlab oder Python)
- Webbasiertes Dashboard mit Deskriptoren
- Umfrage bezüglich Usererkennung

Sitzungsprotokoll

Datum: 7.11.2019

Zeit: 11:00

Ort: TP217

Anwesende: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Die Anordnung der Hallsensoren wurde soweit optimiert, dass es möglich ist die Anzahl Gewichtsscheiben auf eine Scheibe genau zu bestimmen. Das wird erreicht, indem mehrere Hallsensoren nebeneinander platziert werden. Somit kann der Abstand zwischen den Magneten deutlich vergrössert werden.

Es wurde ein rudimentäres Web-GUI mit Django erstellt. Die Webseite ist unter mytrain.ch erreichbar und besitzt eine Anmeldefunktion. Die Daten werden vom Prototyp per SSH in eine MySQL-Datenbank übertragen und im Web-GUI dargestellt.

Sitzungsverlauf

Es wurde der aktuelle Stand der Arbeit präsentiert. Zudem gab es eine Live-Demo und aufkommende Fragen wurden beantwortet. Anschliessend wurden die nächsten Schritte und der Termin der nächsten Sitzung festgelegt.

Besprochene Punkte

Es soll eine Halterung für die von Kieser verwendeten Trainingsmaschinen erstellt werden. So ist es möglich Daten von einem Krafttrainingsgerät zu sammeln.

Für die Wahl des User-Tracking-Systems wird das Feedback von Usern benötigt. Es erscheint sinnvoll hierfür einen Fragebogen mit verschiedenen Optionen zu erstellen.

Bis jetzt wurden die Daten übermittelt, sobald ein Set fertig war. Aus Usersicht wäre ein Echtzeitsystem wünschenswert. Die realisierbaren Verzögerungen durch die Übertragung müssen abgeklärt werden.

Nächste Schritte:

- Erstellen einer Halterung für die Kieser-Maschinen
- Verfassen eines Fragebogens zum Tracking
- Auswerten der Daten mit Triggern mit MySQL-DB
- Zweiter Prototyp fertigstellen
- Optimieren bezüglich Stromverbrauchs
- Messen von zeitlichen Verzögerungen

Sitzungsprotokoll

Datum: 28.11.2019

Zeit: 11:00

Ort: TP217

Anwesende: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Eine typische Kieser-Maschine wurde vermessen und es wurde eine Halterung gefertigt. Das System wurde im Kieser Fitnesszentrum getestet. Das Feedback von Kieser war positiv. Sie würden die Materialkosten für weitere Prototypen übernehmen.

Es wurde eine rudimentäre Auswertung der gemessenen Daten realisiert. Die Anzahl Wiederholungen, die Con-, Ecc- und Iso-Zeiten sowie ROM werden berechnet und im Web-GUI dargestellt.

Es wurde ein Livestream mit MQTT realisiert. In dem gleichzeitig der Prototyp und das Laptop mit dem Livestream gefilmt wurde, konnte die Verzögerung gemessen werden. Sie beträgt etwa 997 ms. Es ist somit möglich dem Benutzer ein Feedback zur letzten Repetition zu geben, bevor er die darauffolgende Repetition abgeschlossen hat.

Mit Google-Forms wurde eine erste Version des Fragebogens erstellt.

David Aguayo würde bevorzugen, dass als nächstes die folgenden Punkte angegangen werden: 1. Live Feedback (ev. Haptisch) 2. Trainingsdeterminanten nach Toigo
3. Gamification

Sitzungsverlauf

Der aktuelle Projektstand wurde präsentiert und das weitere Vorgehen wurde besprochen.

Besprochene Punkte

Es ist wichtig, dass strikt getrennt wird was Masterarbeit/Dissertation/Innosuisse-Projekt ist. Das Dokumentieren des Trainings und der Trainingsassistent (Live-Feedback) sind zwei separate Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen. Es sollte ein Specsheets des Retrofitsystems erstellt werden.

Nächste Schritte:

- David Aguayo anschreiben bezüglich Trainingsassistent (Live-Feedback)
- Optimieren bezüglich Stromverbrauchs (ESP8266)
- Identifikation der User (Kartenleser oder App)
- Prototyp für das Zählen der Gewichte

Sitzungsprotokoll

Datum: 7.1.2020

Zeit: 16:00

Ort: HG F33.2

Anwesende: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Der Prototyp «Eco» wurde erstellt. Der Prototyp kann sehr günstig produziert werden und ist sehr energieeffizient. Die Position von Hallsensoren und Magneten ist bei diesem Prototyp invertiert: Die Magnete stehen und die Hallsensoren sind in Bewegung. Die Identifikation der User erfolgt per RFID-Karte (zum Beispiel mit der CampusCard). Der Prototyp ist portabel und die Montage/Demontage geht sehr schnell. Der Prototyp misst relativ.

Es wurde ein Feedback-Griff mit Vibration-Modul und LED-Ampel gefertigt. Dieser wird über Wifi angesteuert und erlaubt es dem User ein haptisches oder visuelles Feedback zu geben.

Beide Geräte benutzen ein ESP8266-Board und wurden mit C programmiert.

Sitzungsverlauf

Der aktuelle Projektstand wurde präsentiert und es gab zwei Live-Demos. Anschliessend wurde das weitere Vorgehen besprochen und ein Termin für die nächste Sitzung festgelegt.

Besprochene Punkte

Eine gute Lösung für das Zählen der Gewichtsscheiben wird benötigt. Zudem sollte eine Sitzung organisiert werden, an der alle am geplanten Innosuisse-Projekt beteiligten Personen teilnehmen (ETH, Kieser Training und zhaw).

Nächste Schritte:

- David Aguayo kontaktieren
- Echtzeit-Feedback Trainingsassistent (Regel basiert)
- Teststand für das Zählen der Gewichte bauen und Zählmethode verbessern

Sitzungsprotokoll

Datum: 17.2.2020

Zeit: 17:00

Ort: TP217

Teilnehmer: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Das Zählen der Gewichtsscheiben wurde nochmals aufgegriffen. Anstatt die sich bewegenden, werden nun die ruhenden Gewichtsscheiben gezählt. Um die Anzahl der benötigten Pins zu reduzieren, wird ein Multiplexer verwendet. Es können 16 Gewichtsscheiben gezählt werden. Um die Sensoren zu schützen wurde ein Kunststoffgehäuse erstellt. Es wurde ein zweiter Teststand für das Zählen der Gewichtsscheiben gebaut.

Es wurde eine weitere Variante, die sich an das System von FitTrack™ anlehnt, gebaut. Dieses System vereint einen TOF-Sensor und ein RFID-Modul in einem Gehäuse. Es kann mit einem Raspberry Pi oder einem ESP8266 NodeMCU ausgestattet werden.

Die Grundstruktur der Dokumentation wurde festgelegt und es wurden erste Texte verfasst.

Sitzungsverlauf

Zuerst wurde der aktuelle Projektstand vorgestellt. Daraufhin wurde das weitere Vorgehen besprochen und ein Termin für die nächste Sitzung festgelegt.

Besprochene Punkte

Es liegen verschiedene Varianten vor und es ist Zeit den Hardwareteil abzuschliessen. Das Verfahren zur Auswertung der Daten sollte gut dokumentiert werden. Das kann mit Flussdiagrammen oder Skizzen geschehen. Es sollten zudem Messungen gemacht werden, die die Grenzen des Systems aufzeigen (sehr schnelle oder sehr langsame Bewegungen etc.).

Nächste Schritte:

- Dokumentation Auswertung
- Echtzeit-Feedback Trainingsassistent (Regel basiert)

Sitzungsprotokoll

Datum: 9.3.2020

Zeit: 13:00

Ort: TP217

Teilnehmer: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Es wurden Messungen zur Bestimmung der Genauigkeit des TOF-Sensors gemacht. Es hat sich gezeigt, dass die Beschaffenheit der Reflektor-Oberfläche einen grossen Einfluss auf die erzielte Genauigkeit hat.

Die Auswertung der Daten zur Bestimmung der von Toigo et al. beschriebenen Deskriptoren wurde erneut aufgegriffen. Für die Messung wird die Variante Klon mit einer Abtastrate von etwa 20 Hz verwendet. Die Daten werden dabei an das Gateway geschickt und dort auf einem Raspberry Pi 4 ausgewertet. Der Sportler kann die Daten auf dem Dashboard unter mytrain.ch einsehen.

Es wurden verschiedene Verfahren entwickelt und dokumentiert. Das Mehrschrittverfahren mit 5 Punkten kann zuverlässig die konzentrischen, exzentrischen und isometrischen Spannungsduern bestimmen.

Beim Einsatz einer grossen Powerbank mit 76.96 Wh können bei einer Setdauer von 90 Sekunden und einer Leistung von einem Watt mit einer Akkuladung etwa 3'000 Sets erfasst werden.

Sitzungsverlauf

Zuerst gab es eine kleine Live-Demo. Anschliessend wurde der Stand der Arbeit und das weitere Vorgehen besprochen. Am Schluss wurde noch der Termin für die nächste Sitzung festgelegt.

Besprochene Punkte

Es gibt keinen tieferen Grund warum beim Mehrpunktansatz fünf Punkte verwendet werden. Der zeitliche Fehler beim Bestimmen der Spannungsduern sollte mit einem Testset bestimmt werden.

Nächste Schritte:

- Abschluss Trainingsdokumentation (Debugging und Code-Pflege)
- Einsicht Vorversion Doku (Ziel: Ende März)
- Live Feedback
- Ziel: Abgabe Masterarbeit April/Mai

Sitzungsprotokoll

Datum: 30.3.2020

Zeit: 15:30

Ort: TP217

Teilnehmer: Claudio Viecelli, David Graf, Prof. Dr. Rudolf Marcel Füchslin

Stand der Arbeit

Es wurde ein erstes GUI für den Trainingsassistent mit Tkinter entwickelt. Die Umsetzung eines Trainingsassistenten wurde aufgeschoben, um eine erste Vorversion der Dokumentation fertigstellen zu können.

Weil es aufgrund der aktuellen Corona-Situation nicht möglich ist Studien mit Probanden durchzuführen, plant Claudio ein zweites Paper. Dabei handelt es sich um eine Literaturrecherche.

Sitzungsverlauf

Der aktuelle Stand der Arbeit und das weitere Vorgehen wurde besprochen.

Besprochene Punkte

Beim Vergleich der gemessenen Spannungs dauern bei den Tests sollten Absolutbeträge verwendet werden. Es ist geplant die Arbeit auf Ende April hin zu beenden.

Nächste Schritte:

- Trainingsassistent umsetzen
- Dokumentation aufgrund von Feedback anpassen