GAITCam — Automatisierte Kamerabewegungssteuerung zur bildbasierten Ganganalyse

Ronald Dlapka, Jakob Doppler & Brian Horsak

Fachhochschule St. Pölten,
IC\M/T – Institut für Creative\Media/Technologies

{mt091014, jakob.doppler, brian.horsak}@fhstp.ac.at

Zusammenfassung

GAITCam beschreibt die Entwicklung einer automatisierten Kamerabewegungssteuerung zur bildbasierten Ganganalyse. Auf Basis von Näherungssensoren und einer autonomen, mobilen Ansteuerung, die auf einem modular erweiterbaren Schienensystem sitzt, soll qualitatives hochwertiges Bildmaterial für Ganganalyse- und Bewertungsanwendungen zur Verfügung gestellt werden. Die Nachteile stehender Kamerasysteme wie etwa hohe Anschaffungskosten, komplizierter Aufbau, mangelnde Erweiterbarkeit und die, bei der sensiblen Bewertung störenden, Artefakte durch Weitwinkellinsenverzerrung sollen damit behoben werden. Diese Arbeit beschäftigt sich zuerst mit derzeit verfügbaren Systemen und deren Einschränkungen. Anschließend werden Anforderungen für die verschiedenen Komponenten wie Sensoriken, Antrieb und Schienensystem festgelegt und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit anhand eines funktionierenden Prototyps evaluiert und dokumentiert.

1 Einleitung

GAITCam ist Teil des *GAITScore*[1]-Projektes, das sich mit der Erstellung von Lernsoftware für in der Ausbildung befindliche GesundheitsexpertInnen, v.a. Physiotherapeuten, richtet. Die Beurteilung des Gangbildes ist für PhysiotherapeutInnen im Speziellen, aber auch für andere Berufsgruppen im Gesundheitswesen, ein wichtiges Instrument zur Problemeinschätzung, Diagnose und Therapieevaluation. Dabei wird die/der PatientIn in der Regel von

1 http://www.fhstp.ac.at/studienangebot/bachelor/pt/projekte/gait-score

beiden Seiten und von Vorne auf einer definierten Gangstrecke betrachtet und beurteilt. Für diese ganganalytische Beurteilung sind eine Vielzahl an theoretischen Kenntnissen sowie ein großer Anteil an praktischer/klinischer Erfahrung notwendig. Im Rahmen der Ausbildung zum/zur Physiotherapeuten/in wird die Beurteilung des Gangbildes und dessen pathologische Abweichungen bei Erkrankungen in den diversen klinischen Bereichen in vielen Lehrveranstaltungen thematisiert und auch in speziellen Lehrveranstaltungen abgehandelt. Neben der Definition eines Anforderungskataloges zur Lernsoftware, die den BenutzerInnen die visuelle Beurteilung der acht Phasen des Gangzyklus ermöglicht, soll mithilfe einer automatisierten Kamerabewegungssteuerung *GAITCam* der einfache Aufbau einer Referenzbilddatenbank ermöglicht werden (siehe Abbildug 1).

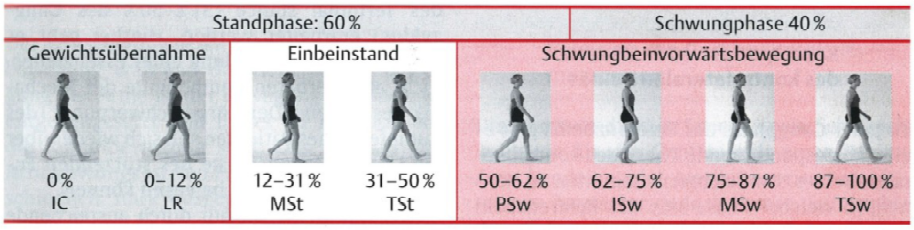

Abb. 1 Beziehung zwischen den acht Gangphasen, ihr zeitlicher Anteil und ihre funktionelle Aufgaben nach dem Rancho Los Amigos System (Götz-Neumann 2011)

In diversen europäischen Entwicklungsstrategien wie beispielsweise dem „Grünbuch über Arbeitskräfte des Gesundheitswesens in Europa“ (2012) wird auf zukünftige Herausforderungen im Gesundheitswesen hingewiesen. Der gezielte Einsatz miniaturisierter und robuster Sensorik, Aktuatorik/Feedbackgeber, auch aus dem Bereich der Unterhaltungsindustrie, erlaubt eine äußerst kostengünstige Anwendung und Einbettung in gesundheitsrelevante Fragestellungen im Gesundheitsbereich. *GAITCam* als (teil)automatisiertes Kamerasystem soll dabei helfen die zeitintensive, visuelle Ganganalyse zu beschleunigen und zu einem späteren Zeitpunkt mithilfe von Methoden der Computervision und Mustererkennung auch die qualitative Messbarkeit und Bewertung automatisieren.

2 Technologien zur bildbasierte Ganganalyse im Gesundheitswesen

2.1 Verwendung von kamerabasierten Ganganalysesystemen in Gesundheitsvorsorge

Derzeit gängige Ganganalyse-Systeme verwenden entweder ein System mit fix positionierten Kameras und einer sich nicht bewegenden Gangstrecke am Boden mit wahlweise zusätzlich am Boden befestigten drucksensitiven Sensorplatten. Andere Systeme arbeiten mit fixen Kamerapositionen, jedoch mit einer bewegten Gangstrecke, um Projektions- und Abbildungsfehler zu minimieren. Diese Systeme haben jedoch zwei Nachteile. Zum einen ist es auf einem Laufband nicht möglich, drucksensitive Sensorplatten zu verwenden. Andererseits beeinflusst die sich bewegende Gangstrecke das Empfinden des Patienten.

2.2 Systeme mit natürlicher Gangstrecke und fixer Kameraposition

Derzeit verwendete Systeme mit fixen Kamerapositionen haben abhängig von der Position des Patienten im Kamerabild einen mehr oder weniger großen Fehler bei der Darstellung von Gelenkwinkel (Banzer, Pfeifer and Vogt 2003, 134). Abbildung 2 zeigt, wie sich dieser Fehler bei einer ca. 5 m langen Gangstrecke mit einer fixen Kameraposition auswirkt. Wird etwa ein Kniewinkel von 90° in der Mitte der Gangstrecke nahezu korrekt wiedergegeben, so vergrößert sich der Projektionsfehler zu den beiden Enden der Gangstrecke bereits enorm. Zu diesem Projektionsfehler durch die räumliche Anordnung kommt noch ein Abbildungsfehler, des Objektives, hinzu. Dieser Abbildungsfehler ist durch das Verhältnis Brennweite zu Schnittweite gegeben und wirkt sich entweder „kissenförmig“ oder „tonnenförmig“ aus. Eine Kombination dieser beiden Fehler macht ein Korrigieren per Software enorm komplex.

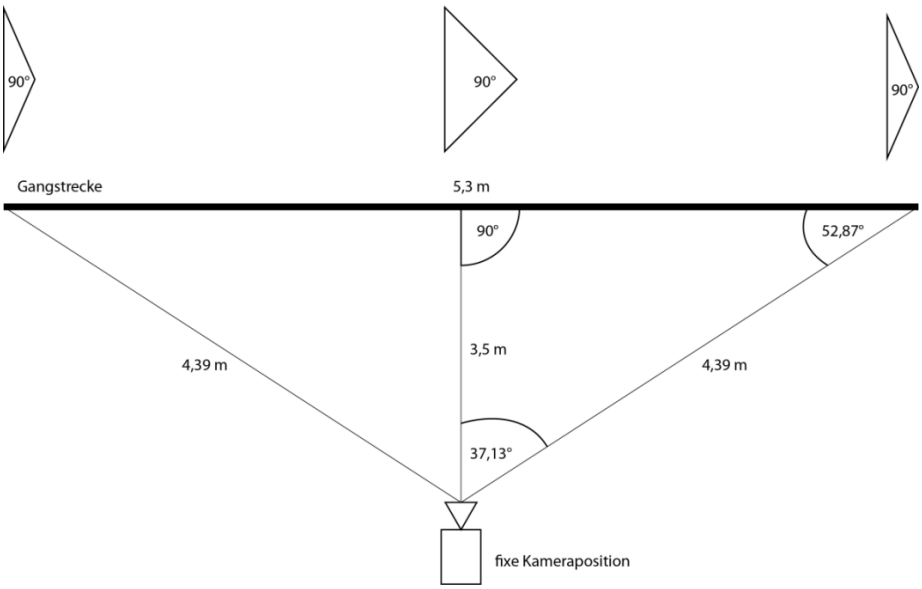

Abb. 2 Projektionsfehler, dargestellt in Verbindung mit Gangstrecke

2.3 Systeme mit bewegter Gangstrecke und fixer Kameraposition

Um die Projektions- und Abbildungsfehler möglichst gut auszugleichen verwenden manche Systeme eine sich bewegende Gangstrecke. Diese ist in den meisten Fällen als Laufband ausgeführt, welches sich zwar positiv auf Bildfehler auswirkt, jedoch zwei neue Probleme aufwirft. Das erste Problem liegt darin, dass auf einem Laufband keine Druckverteilungsmessplatten verwendet werden können. Dadurch ist die Datenausbeute im Vergleich zu natürlichen Gangstrecken geringer. Ein weiteres Problem liegt darin, dass Patienten das Gehen auf einem Laufband anders empfinden als auf einer natürlichen Gehstrecke.

> „Ganganalytische Parameter, wie Schrittfrequenz, relative Schrittlänge und relative Geschwindigkeit, unterscheiden sich signifikant vom „normalen Gang“ auf einer horizontalen Gehstrecke. Erhöht sich auf dem Laufband unmittelbar die Schrittfrequenz, so verringern sich entsprechend die relative Schrittlänge und relative Geschwindigkeit. Vergleichsweise empfindet der Patient die Geschwindigkeit auf dem Laufband ca. 0,5–1,0 km/h schneller als unter den Bedingungen einer horizontalen Gehstrecke.“ (Amelung & Seidel 2005, 407)

2.4 *Gewählter Lösungsansatz: Natürlicher Gangstrecke und bewegte Kameraposition*

Ein möglicher Lösungsansatz, um die Probleme beider im letzten Kapitel beschriebener Systeme zu kompensieren, wäre eine, sich mit dem Patienten mitbewegende, Kamera für die Aufzeichnung der sagittalen Ebene des Gangzyklus.

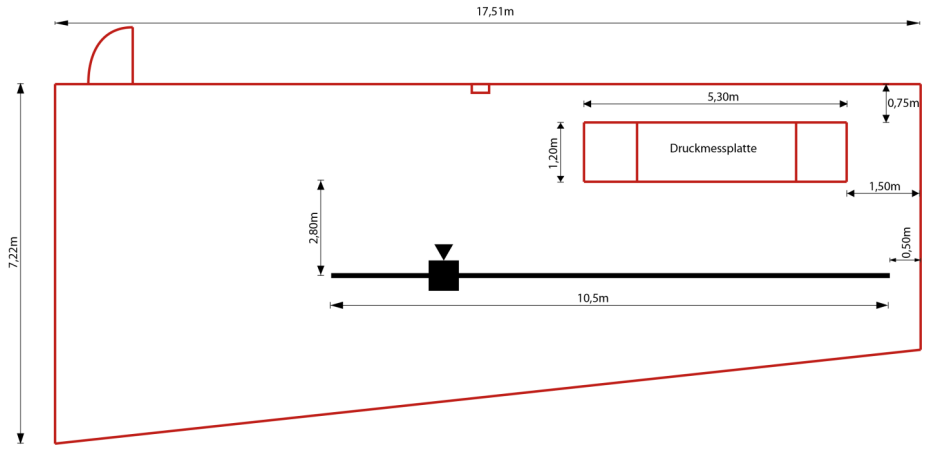

Abb. 3 Raum Physio2 mit bemaßter Skizze des *GAITCam*-Systems

Abbildung 3 zeigt eine Skizze des geplanten Systems, die bereits bemaßt und in den Zielraum Physio2 der Fachhochschule St. Pölten integriert ist. Für ein solches System ist es notwendig entweder die absolute Position des Patienten auf der Gangstrecke oder die relative Position des Patienten zur Kamera zu kennen. Um diese Aufgabe zu bewerkstelligen, stehen eine Reihe verschiedenster Sensoriken zur Verfügung, von denen einige im weiteren Verlauf dieser Arbeit im Bezug auf diese Entwicklung analysiert werden. Für die Auswahl eines Sensorsystems wurden folgende Kriterien festgelegt.

- *Genauigkeit:* Das System sollte eine hohe Genauigkeit der Gelenkwinkel liefern.
- *Robustheit:* Es soll durch äußere Einflüsse nicht gestört bzw. verfälscht werden.
- *Mobilität:* Die Auswertung der Sensoren soll auf einem Arduino-Prototyping-Board möglich sein.
- *Low-Budget:* Die Sensoren sollen kostengünstig sein.
- *Wartbarkeit:* Die Sensoren sollen einfach in der Wiederbeschaffung sein.

- *Modularität:* Erweiterbarkeit des Systems (bezüglich der Bewegungsstrecke)
- *Usability:* Die verwendeten Sensoren sollen den Patienten so wenig wie möglich beeinflussen.

Der nächste Punkt der behandelt wurde ist die Fortbewegung der Kamera. Hier stehen verschiedene Arten der Fortbewegung zur Verfügung. Die erste Möglichkeit wäre dies über ein Seilsystem zu realisieren, wie es das CAM-CAT-System[2], eines der bekanntesten Systeme für Sportaufnahmen, nutzt. Nachteil hierbei wäre die Spannung der Seile, welche eine enorme Stabilität der Verankerungspunkte voraussetzt. Weiters wäre es möglich, dass die Kamera zu schwanken beginnt, da Seile zwar eine hohe Zugfestigkeit besitzen, jedoch nicht verwindungssteif sind. Eine weitere Möglichkeit wäre ein autonom fahrender Wagen ohne jegliches Seil bzw. Schienensystem, der Beispielsweise eine weiß markierte Linie am Boden zur Orientierung verwendet.

Mit diesem System wäre es auch möglich, nicht gerade Strecken zu verwenden. Ein großer Nachteil dieses Wagens wäre jedoch, dass dieser mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht absolut Spurtreu ist und dadurch ein stark ruckendes Kamerabild zur Folge hätte. Ohne die Nachteile der beiden vorhergehenden Varianten kristallisierte sich ein Schienensystem als am sinnvollsten heraus. Es ist sowohl spurtreu als auch einfach aufzustellen, ohne besondere Voraussetzungen an einen Raum zu stellen.

Für dieses Schienensystem wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Das Schienensystem muss für den mobilen Betrieb und damit verbundenen raschen Auf- und Abbau konzipiert werden.
- Das System soll durch technische Laien mit kurzer Unterweisung selbstständig auf- und abgebaut werden können.
- Die Schienen sollen sich vom Gewicht in bestimmten Grenzen halten. Es darf nicht mehr als eine Person notwendig sein um dieses System auf- oder abzubauen.
- Die Kosten der Schienen sollen sich in einem für einen Lehrbetrieb tragbaren Rahmen halten.
- Es soll jederzeit möglich sein, dass Schienensystem zu erweitern. Das bedeutet, dass Materialen einfach verfügbar sein sollen und für die Herstellung kein technisches Spezialwerkzeug nötig sein soll.

2 http://www.camcat-systems.com/

- Optional soll das Schienensystem optisch ansprechend sein und keine abschreckende Wirkung bei den PatientInnen hervorrufen.

Weiters muss auch ein entsprechender Antrieb gefunden werden, der in Abhängigkeit mit dem menschlichen Gang gewisse Voraussetzungen erfüllt. Aus dieser Abhängigkeit haben sich folgende Punkte ergeben:

- Als *Mindestgeschwindigkeit* für den Antrieb des Prototypen wurden *1,39 m/s* festgelegt. Dies entspricht einer durchschnittlichen Ganggeschwindigkeit von 5 km/h.
- Der *Antrieb* muss *genügend Kraft* besitzen, um die Kamera auf die festgelegte Mindestgeschwindigkeit zu beschleunigen.
- *Geschwindigkeit des Antriebs* muss zumindest in 50 Abstufungen sowohl vorwärts als auch rückwärts *regelbar* sein.
- Die benötigte Spannung des Antriebs sollte *12 V* nicht übersteigen, da sonst die kostengünstige und flächendeckend verfügbare *Stromversorgung* über einen Akku erschwert wird.
- Der benötigte Strom für den Antrieb sollte maximal so groß sein, dass der *Akkubetrieb* zumindest für die *Dauer eine Stunde* gewährleistet ist, ohne selbigen austauschen oder aufladen zu müssen.

Die Stromversorgung der bewegten Kamera sollte, da mittelfristig eine komplett drahtlose Installation geplant ist, von Beginn an für den Betrieb mit Akkus geplant werden. Im Prototypen-Stadium findet die Bilderübertragung kabelgebunden statt. Es sollte jedoch bereits auf dem Prototyp die Möglichkeit bestehen, eine Umrüstung auf kabellose Videoübertragung durchzuführen. Dies bedeutet, es sollte auf dem System ausreichend Platz für einen Sender vorhanden sein.

3 Implementierung Kamerasteuerung

3.1 Sensorik Bewegungsdetektion

Da sich die favorisierte Infrarotsensorik nicht für den Einsatz in hellem Tageslicht eignet, wurde die Entscheidung zugunsten von Ultraschallsensorik getroffen. Abbildung 6 stellt eine relative Distanzmessung der *GAITCam* per Ultraschall dar. Der blaue Kegel visualisiert den ausgesendeten Ultraschall-Puls. Der grüne Kegel zeigt die Reflexion, die am Patienten entsteht und zu den Empfängern der *GAITCam* zurückgeworfen wird. Durch die Verwendung von einem Empfänger am Anfang des Wagens und einen am Ende,

entstehen zwei Laufzeiten über deren Differenz die relative Entfernung des Patienten berechnet werden kann. Positive Effekte dieser Art der Messung sind, wie bei anderen Ultraschallmessungen auch, die Unempfindlichkeit gegenüber Sonnenlicht und die nicht begrenzte Streckenlänge. Weiters fällt hier auch die Temperaturkorrektur weg, da keine absoluten Entfernungen in Metern verwendet werden, sondern nur ein Differenzwert der beiden Laufzeiten. Als Nachteil kann die komplexe, technische Umsetzung gesehen werden. Für das Projekt *GAITCam* wurde die Entscheidung zugunsten der relativen Ultraschall-Distanzmessung getroffen, da die Vorteile bei dieser Methode überwiegen.

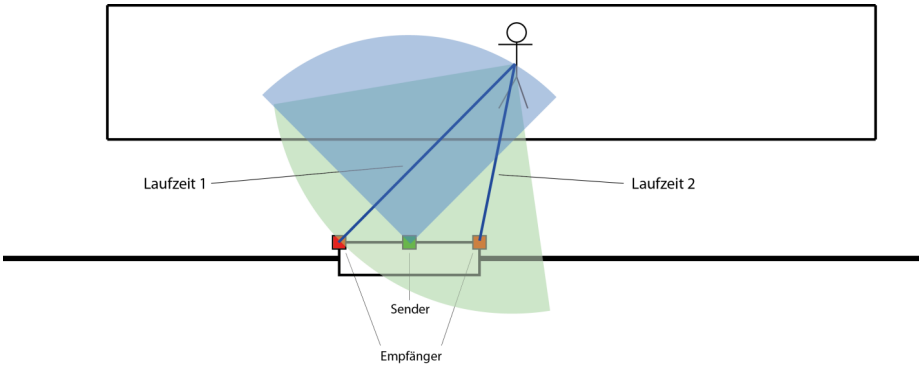

Abb. 4 Beispiel relative Ultraschall-Distanzmessung

Konkret wurde für das *GAITCam*-Projekt ein HC-SR04-Modul verwendet. Bei dem HC-SR04 handelt es sich um ein weiteres fertig aufgebautes Ultraschall-Distanz-Modul, das auch über eine große Android Community verfügt. Es besitzt einen Sender, einen Empfänger und eine Verstärkerschaltung. Der wichtige Unterschied des SR04 besteht jedoch in einer einfacher aufgebauten Logik. Ein Puls mit 10 µs löst ein Aussenden eines 40-kHz-Bursts aus und aktiviert den Empfänger. Das Modul liefert dann ein Echo mit einer Pulsweite abhängig von der gemessenen Entfernung zurück. Diese Pulsweise bewegt sich zwischen 150 µs und 25 ms. Ist kein Objekt innerhalb der 5 Meter, beträgt die Pulsweite 38 ms. Um dieses Echo in eine Entfernung in Metern umzurechnen wird die gemessene Pulsweite durch 58 dividiert (ITead Studio 2010, 2). Weiters verfügt dieser Sensor über keine integrierte Temperaturmessung. Diese ist aber aufgrund einer differenziellen Messung nicht notwendig.

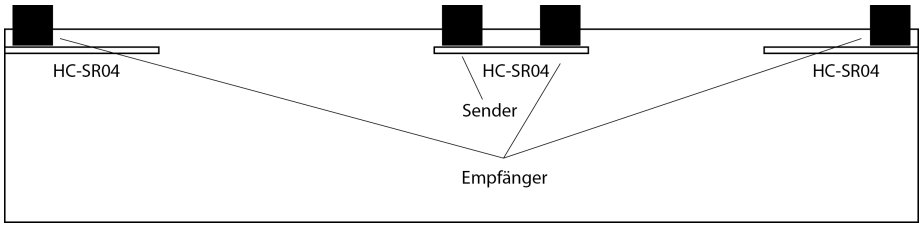

Abb. 5 HC-SR04-Positionierung

Abbildung 5 zeigt die Positionierung der Module am Kamerawagen. Da, um die Messung eines Moduls zu starten, das Aussenden eines Pulses notwendig ist, wurde bei den zwei Modulen die als Empfänger agieren der Sender entfernt. Ein Versuch zeigte, dass das Entfernen des Senders die Empfangsfunktion eines Moduls nicht beeinträchtigt. Die komplette Messung des Systems geschieht wie folgt: Als erstes wird der Sendeimpuls auf allen drei Modulen ausgelöst. Im nächsten Schritt werden die empfangenen Laufzeiten der beiden äußeren Empfänger in ein eindimensionales Array mit zehn Plätzen geschrieben. Dabei verdrängt der neueste Werte den Ältesten. Bei jeder Messung wird ein Mittelwert aus den letzten zehn gemessenen Laufzeiten gebildet. Der Mittelwert des linken Empfängers wird mit dem des Rechten verglichen und es resultiert eine Differenz, die die relative Position des Patienten zur *GAITCam* darstellt. Die Größe dieser Differenz bestimmt die an die Motorsteuerung weitergegebene Geschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit entspricht einem Byte mit einem Wertebereich von 0 bis 200. Der Wert 100 stellt hierbei den Mittelwert dar und entsprechend dazu, bedeutet ein Wert von 0, maximale Geschwindigkeit rückwärts und ein Wert von 200 maximale Geschwindigkeit vorwärts.

3.2 Antrieb

Um die nötige Bewegung der *GAITCam* zu gewährleisten, ist ein entsprechender Antrieb notwendig. Dieser muss gewisse Voraussetzungen erfüllen, die im Kapitel 2.3 festgelegt wurden.

Durch Erfahrung im Modellbau entstand die Idee, Komponenten aus diesem Bereich zu verwenden. Als geeignet erwiesen sich ein Getriebemotor aus dem Gebiet des Modelschiffbaus und ein geeigneter Fahrtenregler mit einer Betriebsspannung von 12 V und ohne Bremsfunktion, da diese einen reibungslosen Richtungswechsel verhindern würde. Folgende Leistungsdaten des Getriebemotors sind für das *GAITCam*-Projekt relevant (Modelcraft o.J.):

- Eine Lastdrehzahl von 310 Umdrehungen pro Minute, welche in einer Geschwindigkeit von 1,55 m/s (entspricht 5,6 km/h) resultiert, bei Verwendung der selben 10 cm großen Laufräder.
- Ein maximaler Laststromverbrauch von 0,7 A, welcher eine Betriebsdauer von über 3 Stunden unter Volllast gewährleisten würde bei der Verwendung eines 12-V-Bleiakkus mit 2,2 Ah.
- Ein Spitzendrehmoment von 2,25 Nm.

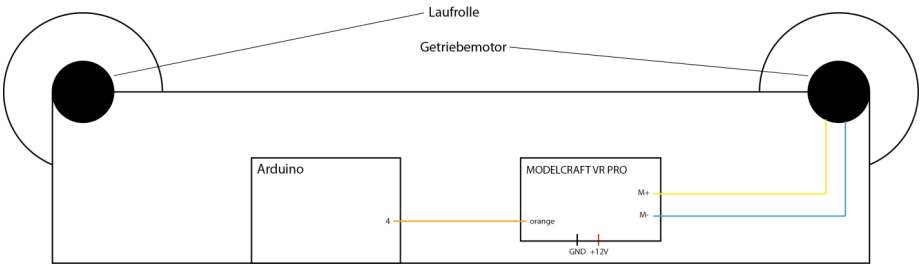

Abb. 6 Versuchsaufbau Getriebemotor

Wie in Abbildung 6 zu sehen, wurde in diesem Fall einer der Schrittmotoren durch eine Laufrolle und einer durch den Getriebemotor ersetzt. Die Laufrollen aus dem ersten Versuchsaufbau wurden beibehalten.

Da Modellbaufahrtenregler und Modellbauservos dieselbe Ansteuerung nutzen, konnte in diesem Fall auf die von Arduino mitgelieferte Servo Library[1] zurückgegriffen werden. Zur Ansteuerung werden Werte in Mikrosekundenpausen von 1000 bis 2000 übergeben. Die Mittelstellung befindet sich daher bei 1500 Mikrosekunden. Die Software übernimmt die auf der seriellen Schnittstelle eingehenden Werte von 0 bis 200 und setzt diese auf Werte von 1000 bis 2000 um. Um sowohl positive als auch negative Beschleunigungen in Grenzen zu halten, um ein ruckelfreies Kamerabild zu gewährleisten, wurde eine spezielle Beschleunigungsroutine entwickelt. Die Software arbeitet sich immer zu der neu erhaltenen Zielgeschwindigkeit hin, indem zur aktuellen Geschwindigkeit jeden Schleifendurchlauf entweder 1 dazugezählt oder 1 abgezogen wird, bis die aktuelle Geschwindigkeit und die Zielgeschwindigkeit gleich sind. Das Maß der Beschleunigung lässt sich über die Länge einer Pause im Schleifendurchlauf feinjustieren. Ein weiterer Zusatz der neuen Software ist eine Interruptfunktion für Endkontakte, damit der Wagen nicht über das Schienenende hinausfährt. Erreicht der Wagen einen der Endkon-

1 http://arduino.cc/it/Reference/Servo

takte, löst der Interrupt aus und setzt die Zielgeschwindigkeit auf 1500, was ein Abbremsen auf Stillstand bewirkt.

Als Fazit dieses Versuchsaufbaus zeigte sich sowohl eine ausreichende Beschleunigung als auch eine ausreichende Endgeschwindigkeit des Wagens. Mit der Verwendung der Modellbauteile konnte eine sowohl einfache als auch kostengünstige Lösung für den Antrieb der *GAITCam* gefunden werden.

3.3 Schienenkonzept

Da das Schienensystem für die *GAITCam* sowohl eine gewisse Mobilität als auch eine leichte Erweiterbarkeit aufweisen soll, wurde eine modulare Bauweise aus 1,5 Meter langen Elementen festgelegt. Durch diese Bauweise resultiert eine Mindestlänge von 1,5 Metern mit einer offenen Maximallänge. Abbildung 7 zeigt einen Entwurf für das Schienensystem, der allen Anforderungen entspricht.

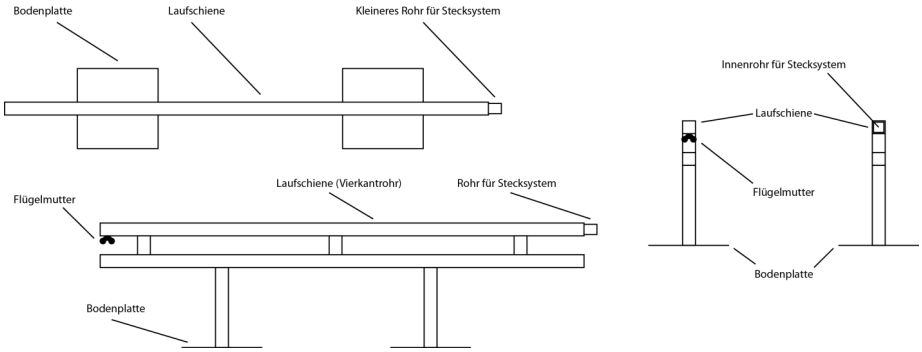

Abb. 7 Entwurf Schienensystem

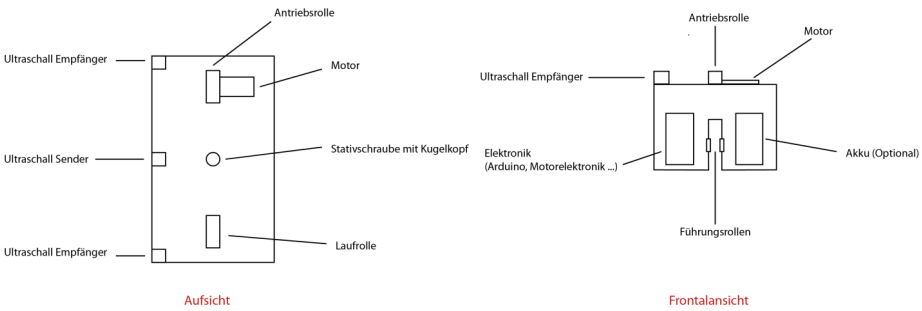

Abb. 8 Entwurf Laufwagen

Abbildung 8 zeigt einen Entwurf des Laufwagens, der allen Anforderungen aus dem Lösungsansatz entspricht. Der Laufwagen muss sowohl zum Schienensystem passen, als auch Platz für alle benötigten Elemente bieten. Für ein 1,5 Meter Streckenelement werden lediglich € 45,79 Materialkosten (Aluminium-Profile der Firma CAP) fällig.

3.4 Videosystem und Datenübertragung

Die Videoübertragung war aufgrund des hohen zeitlichen Aufwands bei der Hardwareentwicklung nicht im Hauptfokus des Projekts. Neben der bestehenden, kabelgebunden HDMI-Lösung über Consumer-Kameras wird über den universalen Kamerasockel auch die Anbindung von DSLR-Kameras, Sportkameras wie etwa GoPro-Systeme oder die Verwendung von Wireless-HDMI-Systemen angedacht.

4 Diskussion

Diese Arbeit zeigte, dass es möglich ist, ein automatisiertes, kostengünstiges, mobiles und modulares Kamerasystem für die Ganganalyse zu entwickeln. Bezüglich des Antriebs stellte sich heraus, dass sich Schrittmotoren des unteren und mittleren Preissegmentes nicht für Fahrtantriebe eignen. Im Bereich des Schienensystems wurde erkannt, dass ein Zukauf fertiger Bauteile, durch den geringeren Einsatz an Arbeitszeit, einen enormen, finanziellen Vorteil bringen kann.

GAITCam als Teil des *GAITScore*-Projekts weitergeführt und soll im Hinblick auf mögliche Verwertungsstrategien mit KMUs aus dem Gesundheitsbereich (z.B. selbstständige PhysiotherapeutInnen und SportwissenschaftlerInnen) diskutiert werden.

Literaturverzeichnis

Amelung, P., W. Seidel (2005). Die instrumentierte Ganganalyse im Rahmen eines manualmedizinisch orientierten Diagnostik- und Therapiesettings im Krankenhaus bei Patienten mit Schmerzerkrankungen des Bewegungssystems, in: *Manuelle Medizin* 43 (6): 404–413.

Banzer, Winfried, Klaus Pfeifer, Lutz Vogt (2003). *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin : mit 20 Tabellen*. Berlin [u.a.]: Springer.

EU Grünbuch über Arbeitskräfte des Gesundheitswesens in Europa (2012). http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008DC0725:DE:NOT (Accessed July 18, 2012).

Götz-Neumann, Kirsten (2011). *Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie*. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart.

ITead Studio (2010). Ultrasonic ranging module : HC-SR04. http://jaktek.com/wp-content/uploads/2011/12/HC-SR04.pdf (Accessed June 2, 2012).

Modelcraft (o.J.). Hochleistungsgetriebemotor 12V/DC 1:18. www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/225000-249999/233131-in-01-ml-HOCHLEIST_GETR_MOTOR_12VDC_de_en_fr_nl.pdf (Accessed June 2, 2012).