

## **Projektbeschreibung Computerkicker (ProCK) Hochschule München Oktober 2011-10-14**

**In der Automatisierungstechnik werden in industrieller Umgebung vorzugsweise standardisierte Komponenten eingesetzt. Ob sich diese auch für eine Lösung von hochdynamischen, komplexen und „nicht vorhersagbaren“ Aufgaben eignen, zeigt das studentische interdisziplinäre Projekt Computerkicker (ProCK). Ein handelsüblicher Tischkicker, bei dem zwei Mannschaften – bestehend aus je zwei Spielern – im sportlichen Wettstreit gegeneinander antreten, sollte dabei so umgebaut werden, dass eine Mannschaft durch eine Computersteuerung ersetzt wird. Nachdem die Grundsatzfrage der Machbarkeit und der grundsätzliche mechanische Aufbau geklärt waren, mussten tragfähige Ideen zur Ballerkennung, zur Spielsteuerung und zum Antrieb der Spielerstangen entwickelt und umgesetzt werden. Die realisierte Ballerkennung erfolgt mittels Schwarz/Weißbildern über zwei Kameras, die aus zwei Ecken des Tisches heraus knapp über dem Spielfeld via Triangulation die aktuelle Position des Balls mit einer Rate von 100 Bildern/Sekunde ermitteln. Damit ist kaum Umbau am Kickertisch notwendig gewesen, und ein „Drüberbeugen“ über den Tisch durch einen Spieler ist unkritisch. Die Spielstangensteuerung pro Stange erfolgt durch die Verwendung einer Kombination aus einem Synchron-Servomotor der Firma Beckhoff für die Rotation und einem zylindrischen Synchron-Linearmotor der Firma Copley Controls für die Translation. Der Synchron-Servomotor wird bei der translatorischen Bewegung nicht mitbewegt, um die bewegte Masse zu minimieren. Die Spielstrategiesteuerung ist in der ersten Version „brute force“, was bedeutet: „Schieße wenn es geht und decke maximal“. Alles in allem ist der fertig gestellte Computerkicker hervorragend in der Lage auch dem geübten Tischkickerspieler ein adäquater Spielpartner zu sein, der nicht maßlos überfordert oder unterfordert. Damit ist das erste Projektziel vollumfänglich erfolgreich erreicht worden, und es bleiben noch eine Reihe von spannenden Verbesserungsmöglichkeiten übrig, um das Projekt eine weitere Runde weiterzuführen.**

Im Sommersemester 2008 wurde erstmalig das “Projekt Technische Informatik“ als freiwilliges Wahlpflichtfach an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Hochschule München von Herrn Prof. Dr. Rainer Seck angeboten. Ziel dieses Projekts war, die Machbarkeit und die verschiedenen Möglichkeiten zur Automatisierung eines Tischkickers unter Verwendung von Standard-Industriekomponenten, die dem Stand der Technik entsprechen, zu evaluieren und ggf. zu bauen. Das Projekt erhielt den Namen „Projekt Computerkicker“ (ProCK). Es wurde und wird hauptsächlich aus Studienbeiträgen finanziert.

In den ersten beiden Semestern wurden im Rahmen von Projektlehrveranstaltungen in Kleingruppen über das Semester verteilt vorbereitende Arbeiten durchgeführt, wie zum Beispiel die Evaluation von bereits bekannten Lösungen und deren Machbarkeit, die Auswahl der Komponenten sowie das Erstellen der Elektroplanung und die Konstruktion eines Gestells zur Aufnahme der benötigten mechanischen Komponenten. Durch wechselnde Gruppenzusammensetzungen in dieser kreativen Phase kamen viele ungewöhnliche Ideen ins Spiel, wurden teilweise prototypenhaft evaluiert, danach akzeptiert oder verworfen. Ziel dieses ersten Schrittes war, die Entscheidungsgrundlage zu schaffen, ob das gesamte Vorhaben realistisch mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist. Mit der dann folgenden Entscheidung, den Kicker zu bauen und damit die besten Ideen der Grobplanung umzusetzen, war das Format der Projektlehrveranstaltung nicht mehr für die nächsten Umsetzungsschritte geeignet. Eine Umsetzung im Rahmen von Abschlußarbeiten, bei denen der jeweilige Bearbeiter kontinuierlich über einen Zeitraum von mindestens einem halben Jahr an einer Aufgabenstellung arbeitet, war nun die bessere Wahl.

Die Leistungsfähigkeit und Dimensionierung des Computerkickers hängt von den abzuschätzenden Randbedingungen ab. Wichtigstes Maß war hierbei die Kenntnis der maximal auftretenden Ballgeschwindigkeit, die ein durchschnittlich „begabter“ menschlicher Spieler erzeugen kann. Angaben variieren hier von 3m/s bis hin zu 12 m/s. Eigene Messungen haben als Maximalgeschwindigkeit 6,3 m/s ergeben. Gestützt auf diesen Eckwert lassen sich, basierend auf der mechanischen Konstruktion des Kickers, die für eine Dimensionierung maximal erforderlichen Antriebsdrehmomente für die Rotationsbewegung und Beschleunigungswerte der Linearbewegung abschätzen. Zusätzlich konnte aus der Ballgeschwindigkeit die benötigte Aufnahmegeschwindigkeit der Ballerkennung ermittelt werden.



Abbildung 1: Frontansicht

Im Rahmen von zwei Diplomarbeiten konnte so eine erste funktionstüchtige Version des Tischkickers aufgebaut werden (Abbildung 1). Aufgabe dieser zwei Diplomarbeiten war zum Einen der Aufbau und die Programmierung der Ballerkennung und zum Anderen der Aufbau der mechanischen Ansteuerung der Spielstangen und die Programmierung der ausgewählten SPS-Steuerung mittels TwinCAT 2 der Firma Beckhoff.

Die Anforderungen, die an die Ballerkennungssoftware gestellt wurden, waren unter anderem eine genügend hohe Genauigkeit der ermittelten Ballposition und die Erkennung mit ausreichend hoher Geschwindigkeit. Beides ist nötig, um den Ball gezielt Richtung Tor schießen zu können. Zusätzlich sollte sie sich ohne umfangreiche Änderungen in einen handelsüblichen Tischkicker integrieren lassen, ohne den menschlichen Spieler zu behindern oder durch ihn verdeckt zu werden. Des Weiteren sollte sie auf einem Standard PC mit den üblichen Schnittstellen betrieben werden können.

Die Lösung dieser Anforderungen wurde mit Hilfe von zwei Embedded-USB-Kameras der Firma VRmagic realisiert, die sich aufgrund ihrer hohen Leistungsfähigkeit und der zur Verfügung gestellten Softwarebibliothek (APIs) mit umfangreichen Programmbeispielen sehr gut eignen. Die Aufnahme erfolgt dabei durch einen horizontalen Schlitz in einer Seitenwand des Kickers kurz oberhalb des Spielfeldes, so dass die Kameras zwischen Spielfeld und Spielerfuß in den Korpus hinein sehen können und den Ball erfassen. Aufgrund dieser Anordnung der Kameras in zwei über die lange Spielfeldseite verbundenen Ecken des Kickertisches ist es möglich, die Ballposition über das Prinzip der Triangulation an jedem Punkt des Spielfeldes zu bestimmen. Hierbei wird das aufgenommene Bild bereits in der Kamera auf den interessanten Bildbereich beschnitten, mit Hilfe eines Schwellwertfilters in ein reines Schwarz-Weiß-Bild umgewandelt und mit einer Lauflängenkodierung (RLE) komprimiert. Nur so ist es möglich, die Bilddaten der beiden Kameras, von denen jede 100 Datensätze pro Sekunde liefert, in ausreichender Geschwindigkeit und ohne zu große Verzögerung per USB zum PC zu übertragen.

Auf dem PC werden die komprimierten Bilddaten nach einem weißen Objekt durchsucht und der zu dem gefundenen Objekt gehörende Kamerawinkel ermittelt. Über das so gewonnene Winkelpaar der beiden Kameras und die bekannten Kamerapositionen kann der Ballmittelpunkt auf dem Spielfeld berechnet werden. Die aktuellen Ballkoordinaten werden im Anschluss daran von der Ballerkennungsoftware in einem Shared-Memory-Bereich im Arbeitsspeicher abgelegt. Die so realisierte Ballerkennung ermöglicht die Verwendung von Standard-Kickerbällen sowie eines handelsüblichen Tischkickers, ohne diesen besonders ausstatten zu müssen, zum Beispiel mit einem durchsichtigen Spielfeld. Außerdem können die Kameras nicht durch den menschlichen Spieler verdeckt werden, wie das bei einer Ballerkennung von oben möglich wäre.

Die Spielsteuerungssoftware greift auf die im Shared-Memory-Bereich im Arbeitsspeicher hinterlegte Ballposition zu und berechnet unter Berücksichtigung der eigenen Spielerposition die nächsten Bewegungen der Spielstangen. Zusätzlich wird eine virtuelle 3D-Darstellung des Spielgeschehens erzeugt und angezeigt. Die Kommunikation zwischen Spielsteuerungssoftware und SPS, die für die Bewegungsausführung zuständig ist, erfolgt über einen TCP/IP Socket-Server, in den ein ADS-Client implementiert wurde. Durch die Verwendung des TCP/IP Servers ist es möglich, dass die SPS auf einem anderen PC aufgeführt wird als dem, auf dem die Ballerkennung und die Spielsteuerung läuft. Diese Konstellation hat die Entwicklungsarbeit erheblich vereinfacht und eine Portierbarkeit der Softwarekomponenten gesichert. Abbildung 2 verdeutlicht die realisierte Topologie der Hard- und Softwareverbindungen.

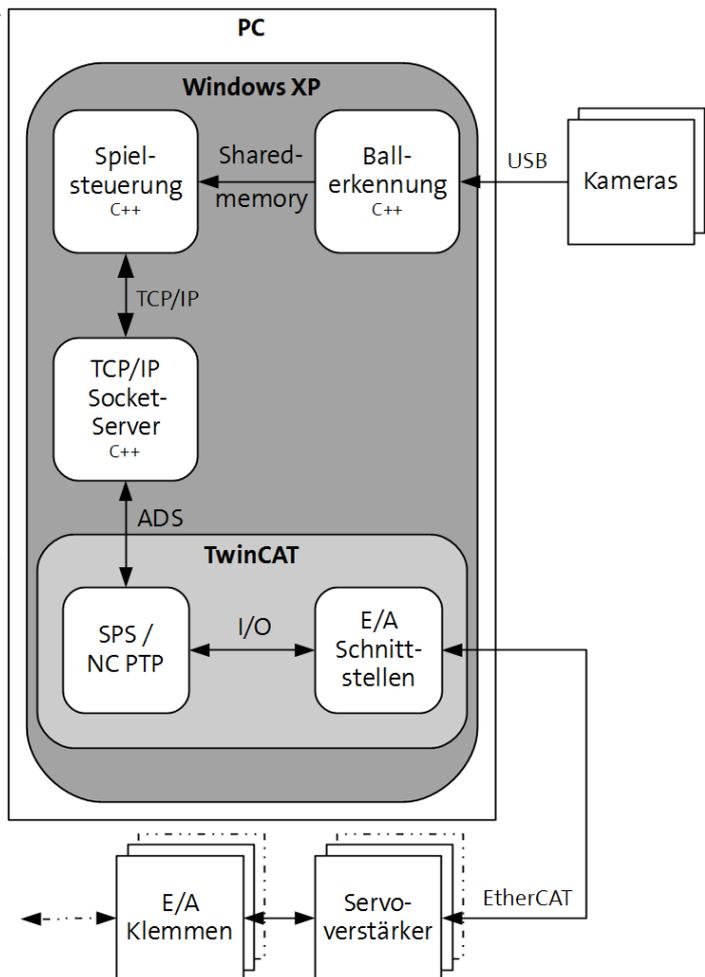


Abbildung 2: Topologie

Bei der Auswahl der Komponenten für die Ansteuerung der Spielstangen wurde darauf geachtet, dass eine ausreichend hohe Performance für kurze Reaktionszeiten sowie eine gute Erweiterbarkeit des Systems gegeben ist. Außerdem sollte die Ansteuerung der Spielstangen neben der Ballerkennungsoftware und der Spielsteuerungssoftware auf dem gleichen PC laufen können, um die Anzahl der Komponenten möglichst gering zu halten. Der Antrieb der Stangen sollte weitestgehend direkt und ohne aufwändige Mechanik – wie zum Beispiel Zahnriemen – die die Fehleranfälligkeit sowie den Konstruktionsaufwand vergrößern, gelöst werden. Zusätzlich wurde auf eine hohe Kompatibilität zwischen Motor, Servoverstärker und Steuerungssoftware Wert gelegt, was zu einer Lösung überwiegend aus „einer Hand“ führte.

Nahezu alle diese Anforderungen konnten durch Produkte der Firma Beckhoff erfüllt werden. Die Steuerung der Elektromotoren für die Stangenbewegung übernimmt dabei die PC-basierte Steuerungssoftware TwinCAT 2 der Firma Beckhoff in der Version NC PTP. Diese beinhaltet neben der SPS eine numerische Bahnsteuerung, die für die Bewegung der Spielstangen benötigt wird. Die Verbindung zu den Servoverstärkern wurde über den

Ethernet-basierten Feldbus EtherCAT gelöst, welcher sich durch extrem kurze Zykluszeiten auszeichnet. Zusätzlich zu den Antrieben werden digitale und analoge E/As für die Bedienelemente und die gegnerische Stangenerkennung über EtherCAT angebunden und in der SPS verarbeitet. Eine übersichtliche Prozessvisualisierung mit Bedienelementen wurde ebenfalls mit TwinCAT umgesetzt.



Abbildung 3: Servoverstärker AX5206

Hardwareseitig ist die Bewegung der Spielstangen durch die Verwendung einer Kombination aus einem Synchron-Servomotor der Firma Beckhoff für die Rotation und einem zylindrischen Synchron-Linearmotor der Firma Copley Controls für die Translation pro Stange realisiert worden (Abbildung 4). Um dabei die bewegten Massen möglichst gering zu halten, wurde eine Mechanik entwickelt, bei der die Rotationsbewegung durch ein verdrehsteifes wirbelstromfreies Teleskopgestänge auf die Linearbewegung aufmoduliert wird. Dadurch muss der Rotationsmotor nicht linear mit bewegt werden, was zu einer Reduzierung der benötigten translatorischen Kraft führte. Die Motoransteuerung übernehmen vier zweikanalige Servoverstärker aus der AX5000 Serie mit Safety-Erweiterung der Firma Beckhoff (Abbildung 3).

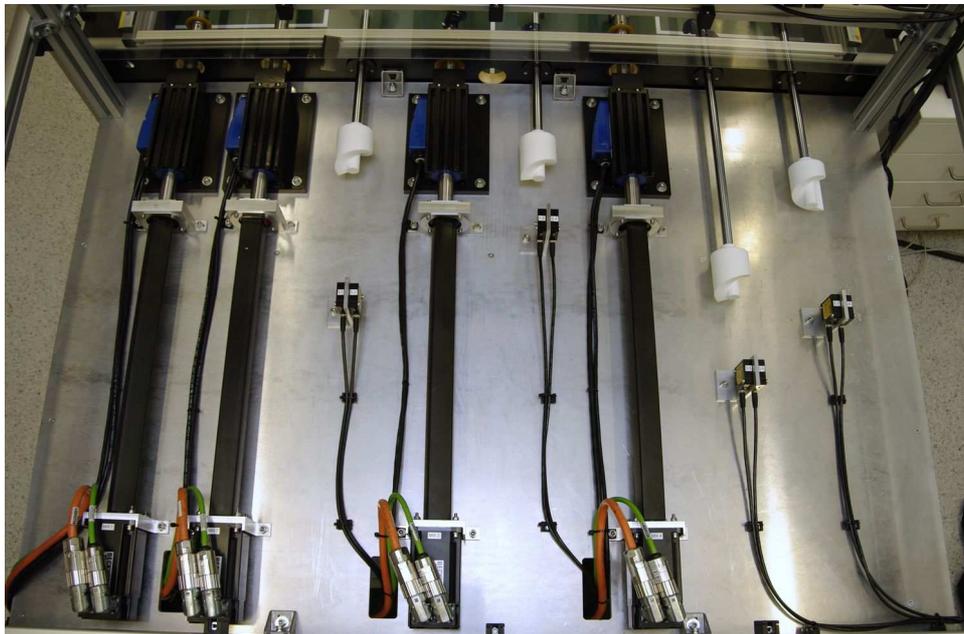


Abbildung 4: Mechanik der Stangenansteuerung

Ergänzend zu den Positionen der eigenen Spielstangen, die aus der aktuellen Motorposition bekannt sind, war auch die Positionserfassung der Spielstangen der menschlichen Gegenspieler gefordert, um diese bei der Spielstrategie berücksichtigen zu können. Da es die Behinderung der Spieler so gering wie möglich zu halten galt, wurde eine Methode zur berührungslosen Erfassung der überlagerten Rotations- und Linearbewegung entwickelt. Hierfür wurden in dem hochschuleigenen Rapid-Prototyping-Labor mittels Lasersinter-Verfahren Zylinder mit einer umlaufenden schiefen Ebene hergestellt. Durch die Gestaltungsfreiheit des Rapid-Prototyping konnten diese Bauteile so gesintert werden, dass sie innen hohl sind. Dies hatte eine Halbierung des Gewichts auf 39 Gramm zur Folge. Diese

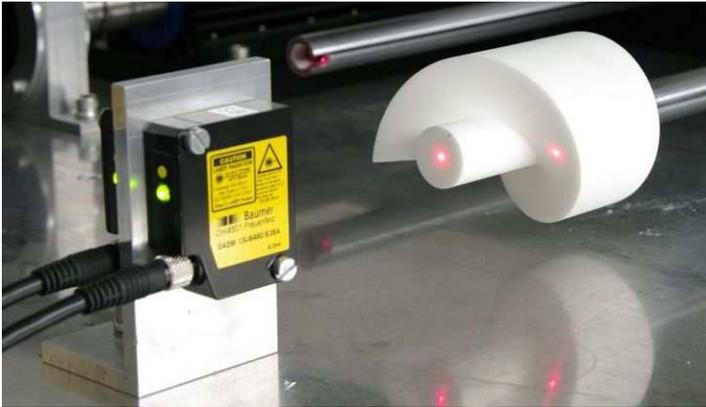


Abbildung 5: Sensorik der Gegnererkennung

Zylinder sind am Ende der gegnerischen Spielstangen befestigt. Die Erfassung der Position erfolgt durch je zwei Laser-Triangulationssensoren der Firma Baumer, von denen einer auf die Zylindermitte gerichtet ist und der andere die schiefe Ebene erfasst, siehe Abbildung 5. Über die Distanz zwischen Sensor und Zylindermitte wird die translatorische Position bestimmt. Die Rotation wird über die Differenzdistanz der beiden Sensoren errechnet. Dies ist möglich, da sich auf Grund der schiefen

Ebene die Distanz in Abhängigkeit der Rotation ändert. Das beschriebene Verfahren wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit erarbeitet und umgesetzt.

Aufgrund der hohen Bewegungsgeschwindigkeiten der Mechanik wurde zum Schutz der Spieler oberhalb des Kickerstisches ein waagerechtes Sicherheitslichtgitter der Firma SICK installiert. Es hat eine Auflösung von 14 Millimetern und ermöglicht daher einzelne Finger sicher zu detektieren. Das Lichtgitter ist über die Auswertelogik mit der Safety-Erweiterung der Servoverstärker gekoppelt und sichert so das sichere Abschalten des Motormoments bei Unterbrechen des Lichtgitters. Um den Spielfluss darüber hinaus nicht mehr als nötig zu unterbrechen, wird das Spiel nach Verlassen des Fingers aus dem Gefahrenbereich trägheitslos neu gestartet.

### Fazit

Bei dem Projekt konnte gezeigt werden, dass sich die komplexe und hochdynamische Aufgabe der Automatisierung eines Kickers unter Verwendung von Standard-Industriekomponenten, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, realisieren ließ. Dabei wurden eine Reihe von interdisziplinären Aufgaben aus den Tätigkeitsfeldern Elektrotechnik, Mechanik, Softwareentwicklung sowie Bilderfassung und Verarbeitung, erfolgreich gelöst. Darüber hinaus bietet das Projekt den Studenten die Möglichkeiten sich praxisnahes, eigenständiges und lösungsorientiertes Arbeiten anzueignen und das enge Zusammenarbeiten mit zuliefernden Industrieunternehmen zu trainieren.

### Ausblick

Auch nach der erfolgreichen ersten Inbetriebnahme des Kickers ist die Arbeit an dem Projekt nicht abgeschlossen. Die größten Verbesserungspotenziale liegen in einer ausgereifteren Spielstrategie sowie einer verbesserten Ansteuerung der Linearmotoren. So ist die Absicht hier den Ball gezielt Richtung Tor zu schießen. Außerdem soll der Spieler noch mehr mit in die Strategie eingebunden werden, zum Beispiel über die Berücksichtigung der Position der Spielfiguren sowie einer adaptiven Spielstärkenanpassung, die sich der des menschlichen Gegners anpasst. Für den nötigen Showeffekt werden in der neuen Spielstrategie zusätzliche Funktionen – wie zum Beispiel eine Torsequenzwiederholung und Torjubel implementiert. Eine Integration von Smartphones oder Tablets zur Live-Visualisierung der Spieldaten über W-LAN wäre auch denkbar.

### Projektteam Abschlusarbeiten ProCK:

Karsten Schätzle, Manuel Zimmermann, Stefan Spindler, Thomas Witzko, Scharel Clemens, Prof. Dr. Rainer Seck et al.

### Kontakt:

[ProCK@ee.hm.edu](mailto:ProCK@ee.hm.edu) , [kicker.ee.hm.edu](mailto:kicker.ee.hm.edu) , <http://www.youtube.com/user/HMProCK> ,  
Prof. Dr. Rainer Seck, Lothstrasse 64, 80335 München, +49(0)89-1265-3401