

Bau einer Multifunktionalen Analoguhr-

Bericht zum Projekt des LEGO Mindstorms Seminar

Leonard Hasler, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Abstract— Viele wichtige Prozesse der Welt sind zeitabhängig. Daher gibt es schon eine lange Geschichte von Zeitmessern, die in allen Gebieten genutzt werden. In dem folgenden Bericht wird der Aufbau einer Multifunktionalen Analoguhr, die im Zuge des LEGO Mindstorms Projektseminars an der Otto von Guericke Universität Magdeburg angefertigt wurde, beschrieben. Die Analoguhr stellt mit drei Zeigern die Zeit auf wenige Sekunden genau dar. Mithilfe von Tastsensoren kann eine Stoppuhr oder ein Timer gestartet werden. Bei heutzutage immer genauer werdenden Uhren wird in dem Projekt eine Uhr in der LEGO Technologie entwickelt, die die obengenannten Funktionen aufweist und somit in vielen Gebieten einsetzbar ist.

I. EINLEITUNG

WELTWEIT spielen in allen Gebieten der Industrie, der Wissenschaft und auch im Haushalt die verschiedensten Uhren eine wichtige Rolle. Diese Uhren können nicht nur die aktuelle Uhrzeit anzeigen, sondern auch häufig zu einer bestimmten Zeit stoppen. Insbesondere ist die Genauigkeit der Uhren sehr wichtig, damit Vorgänge richtig getimt werden können. In dem Projekt, welches zusammen mit Patrick Kallow während des LEGO Mindstorms Seminars bearbeitet wurde, wurde eine Analoguhr, die diesen Anforderungen entsprechen sollte, angefertigt. Die Multifunktionale Analoguhr kann die aktuelle Uhrzeit wiedergeben und auch mithilfe von Funktionen die Zeit stoppen oder rückwärts laufen lassen. Die Analoguhr wird mit LEGO unter Verwendung des NXT aufgebaut und in Matlab programmiert. Das von der RWTH Aachen bereitgestellte Toolkit, mit dem auf die Motorausgänge und Sensoreingänge des NXT unter Matlab zugegriffen werden kann, wird in dem Projekt genutzt. Die Funktionen der Uhr können mithilfe von zwei Sensoren ausgewählt werden.

II. VIELFALT DER UHREN

A. Geschichte der Uhren

Schon seit mehreren Tausend Jahren benutzen Menschen Zeitmesser, um sich an einem Tag zeitlich orientieren zu können. Genauer gab es vor mehr als 5000 Tausend Jahren in Ägypten [1] die erste bekannte Uhr, die heutzutage als Sonnenuhr bezeichnet wird. Aufgrund der Veränderung des Sonnenstandes traf das Sonnenlicht unterschiedlich auf einen Stab und mit dem Schatten des Stabes war eine Zeit ablesbar. Über die Jahre wurden weitere Uhren erfunden, unter anderem die Wasseruhr, Sanduhr und die Räderuhr. Die Räderuhr ist die erste me-

chanisch gefertigte Uhr. Sie beinhaltet eine Unrast, die einen annähernd gleichmäßigen Uhrenlauf ermöglicht. Jedoch war die Räderuhr noch sehr ungenau und recht grob. Die Unruh löste die Unrast ab und mit der Erfindung der Spiralfeder begann im 15. Jahrhundert die Entwicklung eines präziseren Uhrwerks. Damit entstanden die heute bekannten Taschenuhren und Armbanduhren. Im 19. Jahrhundert entstanden die ersten Digitaluhren, welche die Zeit durch den Ziffernwechsel direkt anzeigen, an Stelle von Zeigern.



Abbildung: 1-Atomuhr CS2 der PTB in Braunschweig [2]

B. Die Atomuhren

Mitte des 20. Jahrhundert entstand die erste Atomuhr, das besondere einer Atomuhr ist, dass einzelne Atome den Takt der Uhr angeben. Die erste Cäsium- Atomuhr wurde Ende der 1950er Jahre auf den Markt gebracht. Die Cäsium- Atomuhr funktioniert dadurch, dass zunächst Cäsium in einem Ofen verdampft wird und anschließend in einem Vakuumtank zu einem Atomstrahl gebündelt wird. Die Atome sind dann in einem der beiden tiefstmöglichen Energiezustände, welche das Cäsium einnehmen kann. Danach werden die Atome magnetisch sortiert, und durchqueren einen Hohlraumresonator in dem ein magnetisches Mikrowellenfeld herrscht. Die Atome wechseln mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ihren Zustand, abhängig von der Frequenz des Mikrowellenfeldes. Die Atome, die ihren Zustand geändert haben, werden registriert. Mit dieser Uhr kann eine Sekunde genauer beschrieben werden, und zwar ist eine Sekunde genau nach 9.192.631.770 Perioden des Mikrowellenfeldes verstrichen [3]. In dem Projekt wird die Analoguhr von der Genauigkeit nicht ansatzweise mit der Atomuhr vergleichbar sein. Jedoch ist das Ziel des Projekts, die Genauigkeit der Uhr, im Rahmen der LEGO Mindstorms Technologie, so gut wie möglich anzupassen.

III. ANFERTIGUNG DER UHR

A. Technische Umsetzung

Die LEGO Mindstorms Analoguhr besitzt die Form eines Würfels. Die Größe ist so ausgewählt, dass sie nicht allzu groß ist, jedoch trotzdem ausreichend Platz für den NXT Motor und die Zahnräder ist. Die zwischen dem Motor und den Zeigern die Kraft übersetzen. Auf der Rückseite der Analoguhr sind zwei separate Motoren angebracht, der untere Motor ist für den Sekundenzeiger verantwortlich.

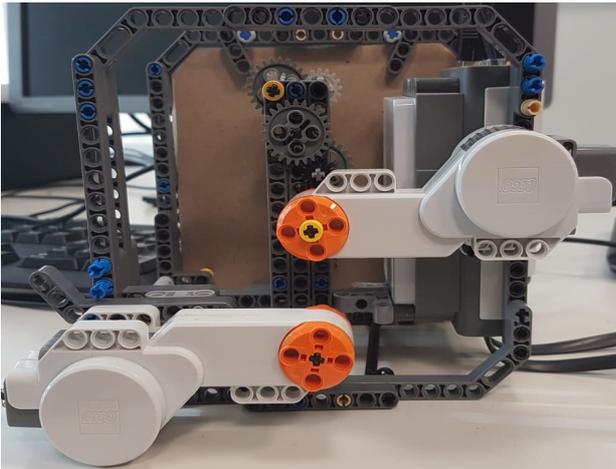


Abbildung 2- Rückseite der Multifunktionalen Analoguhr

Für das Bewegen des Sekundenzeigers wird keine Übersetzung genutzt, sondern der Motor bewegt eine LEGO Stange im Sekundentakt. Am anderen Ende der Stange befindet sich der Sekundenzeiger. Der obere Motor bewegt den Minuten- und den Stundenzeiger. Der Minutenzeiger wird, wie der Sekundenzeiger, direkt vom Motor angetrieben. Andererseits wird die Stange des Minutenzeigers über ein Zahnrad mit der Übersetzungseinheit verbunden. Dabei wird eine Übersetzungsrate von 1:12 benutzt, die mit der Gleichung (1) zu berechnen ist. Die Übersetzungsrate ergibt sich aus zwei 1:2 und einer 1:3 Übersetzung. Bei der Übersetzung werden 8,12 und 24 zahnige LEGO Zahnräder benutzt.

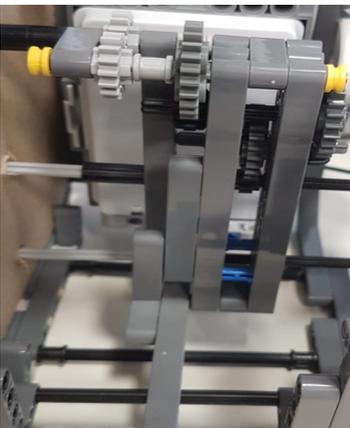


Abbildung 3- Das Räderwerk von der NXT abgewandten Seite

An der Vorderseite ist eine beklebte Pappe fixiert, auf der drei Ziffernblätter dargestellt sind. Der NXT ist an einer Seite angebracht und sorgt zusätzlich dafür, dass der Schwerpunkt relativ mittig liegt. Außerdem sind die beiden Tastsensoren an der Kante zwischen NXT und dem Ziffernblatt angebracht, die Bedienung und die Funktionen der Tastsensoren wird im nächsten Abschnitt weiter erläutert.

B. Programmumsetzung

Das in Matlab geschriebene Programm wird über ein USB- Kabel in den NXT übergeben und treibt die Uhr an. Das Programm besteht aus einigen Funktionen und verbindet die Uhrzeitanzeige mit den beiden weiteren Funktionen. Bei Programmstart stellt sich die Uhr auf die Systemzeit des Rechners, auf dem das Programm läuft, ein. Die Systemzeit kann sich leicht unterscheiden, bei Windows Rechnern kann man den Zeitserver auswählen und dann kann die Systemzeit auf die Millisekunde genau sein, denn manche Zeitserver gehen nach der Atomuhr. Die Funktion bewegt die Zeiger durch zwei verschachtelte For- Schleifen nach genau 0.96 Sekunden und Rechenzeit um sechs Grad. Die Zeit ergibt mit Abweichung möglichst genau eine Sekunde, so dass der Sekundenzeiger sehr genau läuft.

Bei Bedienung eines der beiden Tastsensoren wird zunächst die Zeit zurückgesetzt, das bedeutet die Zeiger stellen sich auf die Ausgangslage und zeigen nach oben. Wenn als nächstes der obere Tastsensor betätigt wird, bewegen sich die Zeiger weiter, bis zum nächsten Betätigen des oberen Tastsensors, dann stoppt die Uhr in wenigen Millisekunden. Die Stoppuhr kann mit Drücken des oberen Sensors weiterlaufen oder mit dem unteren Tastsensor wird wieder auf die Systemzeit angepasst und die Uhrzeit angezeigt. Die Timer- Funktion wird gestartet, wenn die aktuelle Uhrzeit angezeigt wird und dann der untere Tastsensor betätigt wird. Nach Zurücksetzen der Zeiger ist es möglich den Sekundenzeiger auf eine gewünschte Zeit zustellen. Bei nochmaliger Betätigung des unteren Tastsensors läuft der Zeiger entgegen dem Uhrzeigersinn bis er wieder auf Null steht. Bei Erreichen des Startpunktes wird ein Ton abgespielt, der das Beenden des Timers akustisch hervorhebt. Wenige Sekunden später stellt sich die Uhr wieder auf Systemzeit ein und läuft wie eine gewöhnliche Analoguhr. Zur Veranschaulichung der erklärten Funktionsweise befinden sich die Programmablaufpläne im Anhang (2).

C. Gleichungen

$$i = \frac{z_2}{z_1} \tag{1}$$

i = Übersetzungsverhältnis

z_1 = Zähnezahl des treibenden Rades

z_2 = Zähnezahl des getriebenen Rades

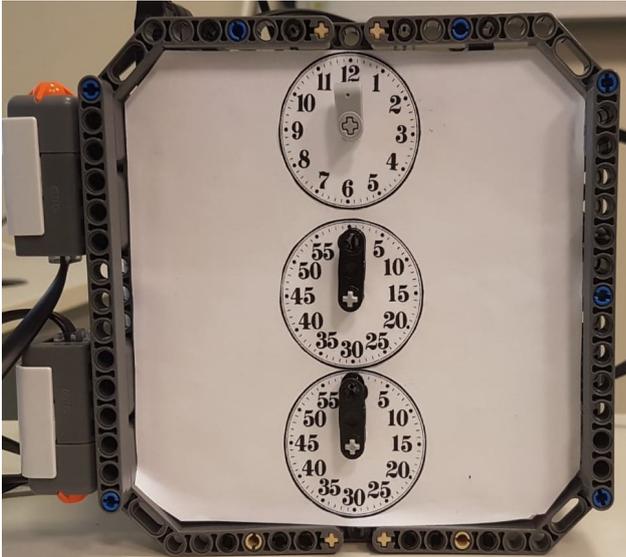


Abbildung 4- Die fertiggestellte Uhr

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Am Ende des Projekts erfüllt die Multifunktionale Analoguhr die gewünschten Anforderungen, dies beinhaltet die möglichst genaue Uhrzeitanzeige, sowie die Stoppuhr- und Timerfunktion. Auf dem Weg dahin sind einige Probleme aufgetreten, die alle weitestgehend gelöst wurden sind. Beim Aufbau der Uhr ergaben sich Probleme beim Auffinden bestimmter LEGO Teile, deshalb sind einige Teile nicht ganz farblich symmetrisch eingebaut, dies stört aber keineswegs die Funktionalität der Analoguhr. Beim Programmieren ist es vorgekommen, dass sich die Motoren und Zeiger endlos bewegen. Dieses Problem entstand dadurch, dass das sogenannte TachoLimit auf null oder einen negativen Wert verändert wurde, durch cleveres Kürzen oder Erweitern der Variablen ist es möglich, das Problem zu bewältigen. Ein etwas schwerwiegendes Problem ist die Überlastung des Motors oder des NXT. Dies trifft zu, wenn in zu kleinen Zeitabständen Bewegungen ausgeführt werden sollen. Die Problemlösung sind kleine Pausen die zur minimalen Verzögerung dienen und dem Fluss des Programms helfen. Das größte Problem, was den Unterschied zu den am Beginn genannten Uhren ausmacht, ist jedoch die Ungenauigkeit der Lego Motoren. Die LEGO Motoren haben nur einen Wirkungsgrad von ca. 95%, dadurch gibt es nach mehreren Umdrehungen der Zeiger schon deutliche Abweichungen. Deshalb ist die Analoguhr nicht wirklich in der Genauigkeit vergleichbar mit den modernen Uhren. Nach Ändern der Toleranzgrade konnte das Problem leicht verbessert werden, aber die Ungenauigkeit kann nicht vollständig behoben werden. Innerhalb der Lego Technologie ist es gelungen, die Uhrzeit möglichst genau darzustellen und die Funktionalität der Stoppuhr und des Timers ist gewährleistet.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

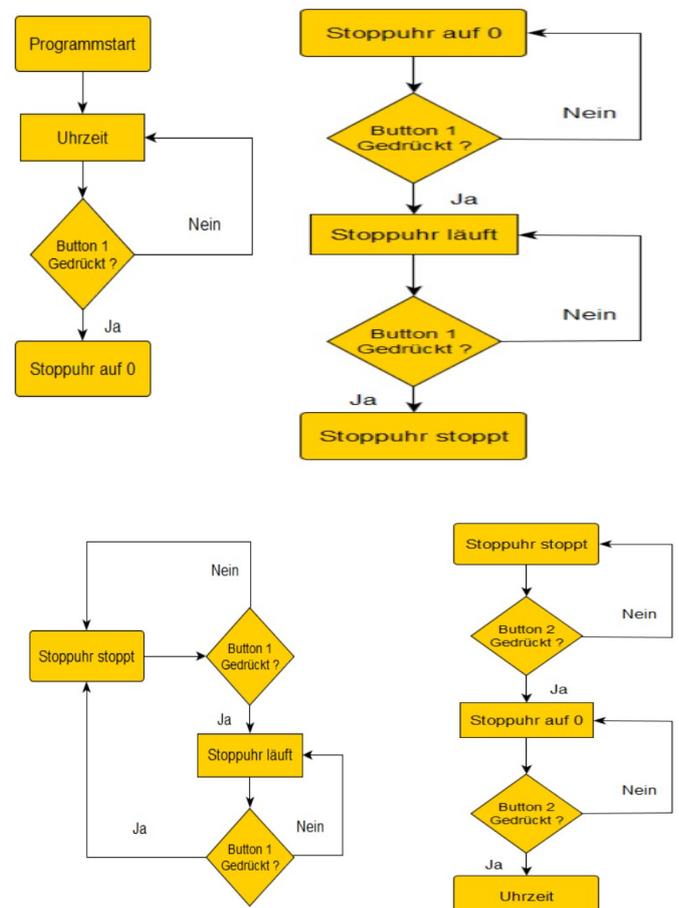
Alles in allem ist im Rahmen des Projekts eine funktionierende Analoguhr entstanden. In der Praxis existieren

bereits Modelle mit gleicher Funktionsweise, die eine genauere Zeit anzeigen können. Das Ziel der LEGO Uhr war mit der vorhandenen LEGO Technologie eine solche Uhr zu bauen. Dies ist gelungen trotz den in Punkt IV genannten Problemen und Einschränkungen. Die Größe ist so bestimmt, dass man die Uhr leicht handhaben kann und sie so in verschiedenen Bereichen einsetzbar ist. Es bestehen einige Verbesserungsmöglichkeiten bei der Entstehung einer solchen Analoguhr. Einerseits ist es möglich, das Programm auf den NXT zuspielden. Dann könnte man die Übertragungszeit sparen, aber der NXT bräuchte eine genaue Systemzeit, die er in diesem Fall nicht hatte. Außerdem wären zusätzliche Funktionen möglich gewesen, die über weitere Tastsensoren bedient werden könnten. Z.B.: Ein Sekundenmodus, der bedeutet die genauere Anzeige einer Zeitspanne, in dem der Sekundenzeiger sich schneller bewegen würde. Diese Erweiterungen konnten in der zu Verfügung stehenden Zeit des Projekts nicht realisiert werden.

ANHANG

1. Quellcode des Uhrzeitmodus

2. Programmablaufplan



LITERATURVERZEICHNIS

[1] Was War Wann?: *Geschichte der Uhr*.
<https://www.was-war-wann.de/geschichte/geschichte-der-uhr.html>. Version: März 2019

[2] Carolin Pirich: *Die Eigenzeit der DDR*.
https://www.deutschlandfunkkultur.de/die-eigenzeit-der-ddr.984.de.html?dram:article_id=153461.
Version: März 2019

[3] Andreas Bauch: *Wie funktioniert eine Atomuhr?*.
<https://www.spektrum.de/frage/wie-funktioniert-eine-atomuhr/590812>. Version: März 2019