

Het bouwen van een schaakrobot



IJsbrand Meeter 6A

Probleem:

Met de opkomst van een tijdperk van artificial intelligence sneeuwt langzaam het ouderwetse handmatige werken onder. Schaken is een discipline die hierdoor snel verandert en sinds de uitvinding van de schaakcomputer in de jaren zeventig maken menselijke grootmeesters snel plaats voor schaakcomputers. Volgens sommigen verdwijnt daardoor het ouderwets schaken geleidelijk. De modernisering van het spel brengt echter ook positieve kanten met zich mee. Iedereen heeft nu de mogelijkheid om te spelen tegen een tegenstander op zijn eigen niveau waardoor schaken nog nooit zo toegankelijk is geweest. Toch prefereren oude grootmeesters vaak nog het schaakbord over zijn digitale vervanger, meestal omdat zij het gevoel hebben de positie beter te overzien op een bord dan op een scherm.

Dit project doelt erop de positieve kanten van de modernisering van schaken te behouden, maar tegelijk de nadelen zo klein mogelijk te maken, waardoor iedereen profiteert van de voordelen die het moderniseren van schaken biedt. Dit wordt bereikt door computer gegenereerde zetten door een schaakcomputer om te zetten in fysieke zetten op het schaakbord.

Hiervoor ga ik een robot bouwen die op reactie met een ingevoerde opdracht een schaakstuk kan verplaatsen.

Deze robot moet enkele opeenvolgende stappen kunnen uitvoeren, ten eerste moet het een begin coördinaat van een veld ontvangen van de gebruiker, vervolgens moet de hardware het schaakstuk op dit coördinaat kunnen vastpakken. Daarna moet de hardware een nieuwe coördinaat ontvangen van de gebruiker, waarna de hardware het vastgepakte stuk zeer precies moet kunnen verplaatsen naar het tweede coördinaat, waar het als laatste stap het stuk weer moet kunnen loslaten.

Hiervoor moet er dus hardware worden gebouwd die stukken kan vastpakken en verplaatsen over het schaakbord.

De robot moet aan verschillende voorwaarden voldoen. Het is zeer belangrijk dat het nog steeds toegankelijk is voor een zo groot mogelijk publiek, om dit te bereiken moet er rekening worden gehouden met verschillende onderdelen. Allereerst moet het betaalbaar blijven, waardoor het belangrijk is om zo goedkoop mogelijke materialen te gebruiken, ten tweede moet het afmetingen hebben waarmee makkelijk omgegaan kan worden. Ten derde moet het eenvoudig te bedienen zijn, en als laatste moet het stevig zijn, het is namelijk niet de bedoeling dat als het verkeerd wordt opgepakt het uit elkaar valt.

Om het ook aan de eisen van grootmeester te laten voldoen moet het schaakbord er uiteindelijk zo authentiek mogelijk uitzien en mag de hardware het zicht van de schaker niet belemmeren, waardoor deze nog steeds dezelfde mogelijkheid heeft de positie van het schaakbord te beschouwen.

Verder is er voor het maken ook nog een voorwaarde. Alles moet met een Arduino kunnen worden aangestuurd, dit is een programmeerbare microcontroller waarmee ik bekend ben en het moet met een bekende taal kunnen worden geprogrammeerd, namelijk C++.

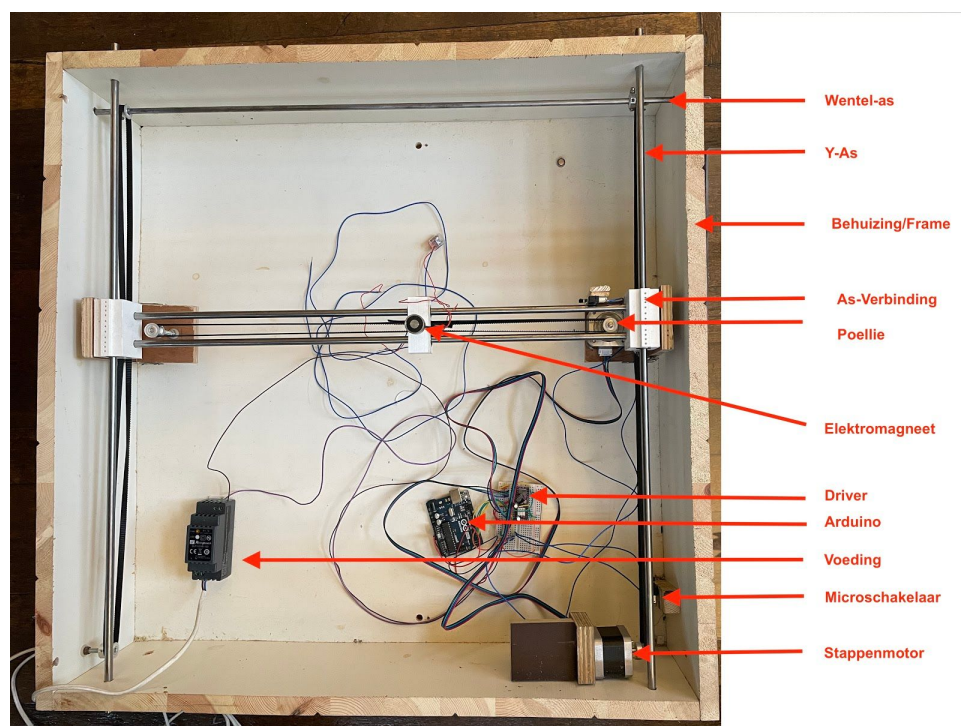
Het soort hardware die aan al deze voorwaarden voldoet is een CNC machine, een CNC machine is een stellage die bewegingen kan maken over een x- en een y-as en soms een z-as kan verschuiven. CNC staat voor computer numerical control en kan met hele grote precisie worden aangestuurd. CNC machines worden gebruikt in onder andere 3D printers, frezen en lasersnijders. Ik ga een eenvoudige CNC machine maken die alleen over de x-as en y-as kan bewegen. De CNC machine die ik ga bouwen voldoet aan alle eerder gestelde

eisen. Het is namelijk een machine die uit redelijk goedkope onderdelen kan worden gebouwd, stevig is en in elke grootte kan worden gemaakt. Deze CNC machine kan ook nog eens volledig worden verscholen onder het schaakbord, waardoor er van buitenaf niks van te zien is. De kop van de CNC machine moet in ons geval stukken kunnen vasthouden. Een geschikte oplossing hiervoor is een elektromagneet, door de schaakstukken namelijk te voorzien van een ijzeren plaatje, kan de elektromagneet deze stukken op commando vastpakken en loslaten.

De CNC machine kan worden verdeeld in verschillende onderdelen. Al deze onderdelen vereisen verder onderzoek. Voor deze ingewikkelde onderdelen heb ik soortgelijke projecten¹ van anderen geanalyseerd en hun problemen bekeken, soms was hun manier van bouwen hulpzaam en soms verschilde mijn aanpak. Over deze verschillen kom ik later terug.

Ingewikkelde onderdelen:

Allereerst het frame; het frame is van groot belang, omdat het de afmetingen van de robot vaststelt, en de CNC machine voorziet van stevigheid. Het idee van het frame is in theorie eigenlijk een eenvoudige houten box waar de verschillende onderdelen



aan vastgemaakt kunnen worden zodat deze een stevig geheel vormen. Dit onderdeel dekt dus twee belangrijke eisen voor de robot. Het materiaal moet nog aan enkele eisen voldoen, allereerst moet het stevigheid bieden, het frame wordt namelijk het deel dat alle verdere onderdelen vasthoudt. Echter moet het frame niet te zwaar worden, als het te zwaar zou worden kan de hardware niet meer kunnen worden verplaatst wat ervoor zou zorgen dat de

1

https://create.arduino.cc/projecthub/maguerero/automated-chess-board-50ca0f?ref=similar&ref_id=166444&offset=0

en

https://create.arduino.cc/projecthub/Moustafaidris97/automated-chess-piece-mover-39c7de?ref=similar&ref_id=113538&offset=1

robot minder gebruiksvriendelijk wordt. Ook moet het van een materiaal zijn dat eenvoudig te bewerken is. Het materiaal moet veel bewerkt worden om er een frame van te bouwen, en als er fouten worden gemaakt tijdens het bouwen moeten er nog wijzigingen in kunnen worden gemaakt. Het belangrijkste onderdeel dat het frame vasthoud zijn de **assen**. Ten eerste is bedacht om dit frame van een stalen profiel te maken. Door de uiteinden van de y-as in een stalen profiel vast te maken zal de as blijven zitten. Een stalen profiel zou ervoor zorgen dat het frame zeer stevig is, het zou dus in staat zijn de assen vast te houden met relatief weinig materiaal. Doordat het relatief klein blijft zou het dus ook licht en compact zijn maar nog steeds stevig. Echter is ijzer redelijk moeilijk te bewerken, waardoor fouten moeilijk kunnen worden opgelost, buiten een werkplaats. Daarom is uiteindelijk de keuze gemaakt voor hout, hout is namelijk een relatief licht materiaal wat zeer eenvoudig te bewerken is, maar nog steeds stevig is. Hoewel het frame massiever gaat worden met hout dan het zou worden met ijzer betekent het wel dat denkfouten makkelijk kunnen worden gewijzigd. Een bijkomend voordeel maar geen vereiste is dat hout geen elektriciteit geleidt waardoor het de kans op kortsluiting verkleint.

De tweede ingewikkelde constructie is het **verbinden van de twee assen**, deze moeten zonder moeite langs elkaar kunnen bewegen, maar de assen moeten wel aan elkaar vast zitten. Soortgelijke projecten maken gebruik van ronde lagers met een vlakke bovenkant, hierdoor kunnen er eenvoudig dingen aan vast gemaakt worden, alleen zorgt dit ervoor dat het maximale bereik van de CNC machine wordt verkleind. Er is namelijk aan beide kanten van de magneet een extra gedeelte lager. Om dit te voorkomen is er gekozen om voor het verbindingsstuk van de assen te 3D printen, het onderdeel zou beide assen moeten verbinden en moet de mogelijkheid hebben om een tandriem vast te houden die later wordt gespannen. Om de assen nog wel goed te laten bewegen is ervoor gekozen om tussen het 3D geprinte onderdeel en de as lagers te plaatsen, deze zorgen ervoor dat de assen zonder weerstand kunnen bewegen. Het verbindingsstuk van de assen bevat een **tandriemsluis** waar de tandriem doorheen kan worden getrokken en met behulp van nagels door de voorgemaakte gaten kan worden vastgezet. Echter bleek dat doordat de sluis van boven volledig gesloten was, het erg moeilijk was hiermee te werken, een eenvoudigere manier van de tandriem bevestigen was het vastlijmen aan de onderkant van het 3D geprinte onderdeel. Een van de assenpunten moet ook nog een **motor** meenemen, maar door dit extra gewicht kunnen de dunne assen doorzakken in het midden. Deze assen worden immers maar op twee plekken ondersteund. Om dit probleem op te lossen werd in eerste instantie gekozen om onder beide **as snijpunten een wieltje** te plaatsen. Deze zou moeten voorkomen dat de as een mogelijkheid heeft om door te zakken, terwijl het nog steeds met een zo klein mogelijke weerstand kan verplaatsen, echter heeft dit als probleem dat de bodem van het frame extreem waterpas moet zijn, op het moment dat het dat namelijk niet zo is duwt het wieltje als het een verhoging tegenkomt het bewegende 3D geprinte onderdeel tegen de as aan waardoor deze begint te klemmen. Dit probleem zou kunnen worden opgelost door het hout recht te maken, maar na empirisch onderzoek is gebleken dat de wieltjes ook weggelaten kunnen worden als de afmetingen niet heel groot zijn. Door deze kleinere afmetingen is de maximale afstand van het punt waar het gewicht wordt ondersteund tot het punt waar het gewicht is, kleiner, hierdoor is er ook sprake van een minder grote arm waardoor de kracht minder groot wordt, en uiteindelijk niet groot genoeg om de as door te buigen.

Een derde factor om naar te kijken is het bewegen van **een van de assen**. Voor het bewegen van deze as is in eerste instantie gekozen voor een tandriem aan een kant, bekrachtigd door een sterke motor. Het principe is dat als de motor draait deze de tandriem meeneemt in zijn beweging via **tandwiel poelies** en zo ook het vastgelijmde koppelstuk en daarmee de gehele as, maar doordat de as aan twee kanten vast zat en maar aan een kant werd aangestuurd zorgde dit ervoor dat de motor de as scheef trok, waardoor deze zichzelf vast heeft geklemd. Dit probleem is bekeken in soortgelijke projecten, hier werd het opgelost door de as van de motor te verlengen en hierdoor twee tandwielen en tandriemen aan te sluiten aan de as van de motor. Hierdoor wordt de as aan twee kanten aangestuurd en klemt hij niet meer, echter is dit verlengstuk van de as redelijk duur en kan dit eenvoudig worden opgelost met op een andere manier de as aan beide kanten te bekrachtigen, maar deze tandriemen moeten dan die de as meenemen en met exact dezelfde snelheid draaien, anders doet hetzelfde probleem zich voor er trekt de as zichzelf klem. Dit is gedaan door de tandriem, met een oorsprong bij de motor, een tweede as te laten aandrijven, **de wentelas**, die vervolgens een **poelie** meeneemt die op zijn beurt een tweede tandriem aandrijft die de tweede kant meeneemt. Doordat alle onderdelen in deze stellage worden aangestuurd door een enkele motor verschilt de draaisnelheid van de verschillende tandriemen niet, hierdoor worden beide kanten met dezelfde snelheid meegenomen wat ervoor zorgt dat de as zonder moeite beweegt. Het is dan wel heel belangrijk dat de wentelas volledig recht is. In eerste instantie was er gekozen voor een draadeinde omdat dit makkelijk te monteren is met moeren, echter was dit draadeinde niet stevig genoeg waardoor het krom werd. Door deze kromming draaide de wentelas niet soepel en had deze een zwaar punt, hierdoor moest deze wentelas vervangen worden door moeilijker te monteren assenstaal. Dit was steviger materiaal waardoor het niet krom trok, en was uiteindelijk eenvoudig te monteren met asborgringen.

Om het project zo goedkoop mogelijk te houden is ervoor gekozen om alle onderdelen van resthout te maken. Dit zorgde er af en toe voor dat onderdelen niet perfect afgestemd konden worden waardoor andere keuzes moesten worden gemaakt. Het volledige frame is gemaakt uit het hoofdeinde van een oud kinderbed. De afdekplaat is gemaakt van plexiglas uit een oude vitrine, dit had net zo goed gemaakt kunnen worden van hout maar het plexiglas was visueel mooier, omdat je zo de techniek eronder kon zien. Het schaakspel is op de onderkant van het plexiglas getaped waardoor de verschuivende schaakstukken er niet over zouden kunnen "struikelen". Het is getaped met mat zwart vinyl tape. De schaakstukken zijn wederom van afvalhout gemaakt en zijn ontworpen naar het design van Tim sway². De zwarte stukken zijn geolied met osmo hardwax.

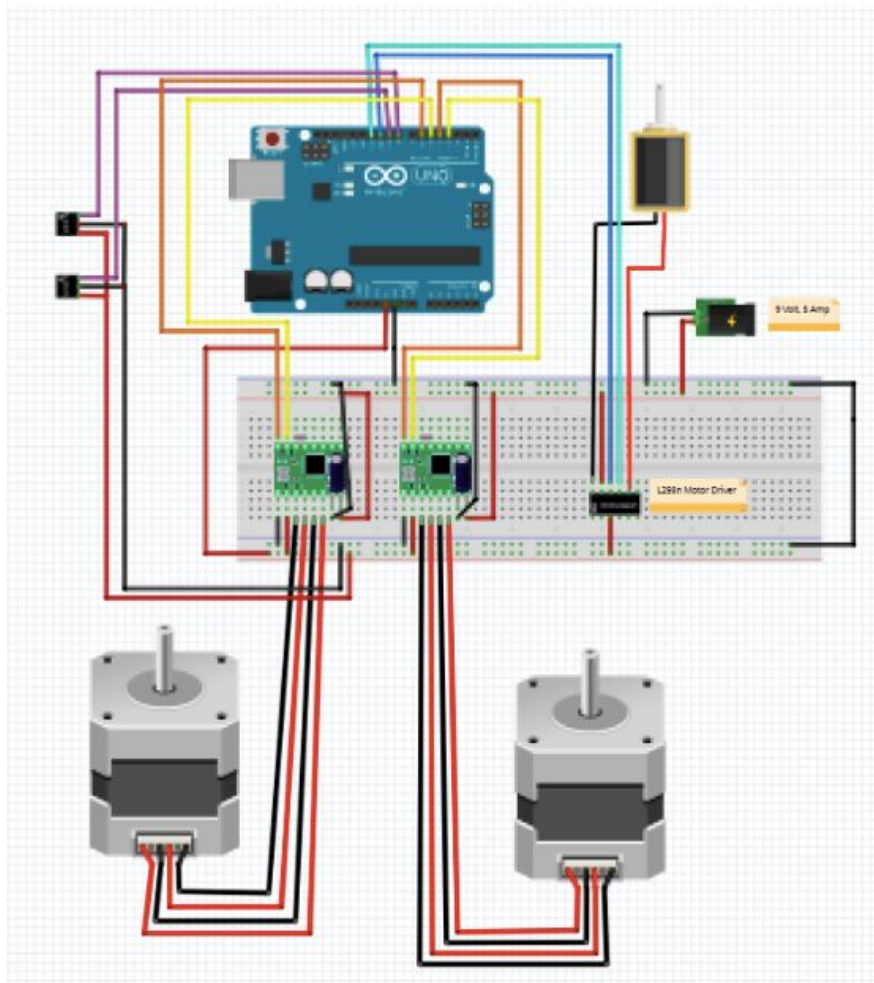
² <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=WUeCYeNufV8>

Software en aansluitingen:

De software is vrij eenvoudig en doorloopt de volgende stappen in een loop (zie bijgevoegde code):

1. Beginpositie aanvragen;
2. Omrekenen naar stappen over de x- en y-assen;
3. stappen uitvoeren;
4. eindpositie aanvragen;
5. magneet aanzetten;
6. omrekenen naar stappen over de x- en y-as;
7. stappen uitvoeren;
8. magneet uitzetten.

Hieronder een schematische tekening van een soortgelijke aansluiting³. Het verschil is dat de magneet op de afbeelding is aangesloten op 9V en in de robot aangesloten is op 12V en de schakelaars zijn in de afbeelding in serie aangesloten maar in de robot zijn ze apart van elkaar aangesloten.



Onderdelen voor het bouwen van de CNC machine:

- 2x Stappenmotoren
- Arduino
- 2x Stappenmotor Driver
- 2x Microschakelaar
- 4x assen
- 6x Poelies
- 6m tandriem
- 6x lagers
- hout
- bedrading
- elektromagneet
- 12 V stroomvoorziening
- Capacitor 100 μ F
- H-bridge
- plexiglas
- vinyl tape



Stappenmotor:

De motor die is gebruikt in dit project moet aan een aantal eisen voldoen. Ten eerste moet de motor zeer precies en makkelijk te besturen zijn, er moet immers een exacte afstand worden afgelegd. Ten tweede moet de motor snel kunnen draaien zodat het uitvoeren van een commando niet heel lang duurt. Ten derde moet de motor krachtig genoeg zijn om een hele stelling te kunnen verschuiven over een as en de motor moet op een niet te hoge spanning kunnen opereren. Een stappenmotor is een elektromotor die op 12V werkt en aan al de verdere deze eisen ook voldoet en is daardoor een goede keuze voor dit project. Er zijn er twee nodig, omdat er zowel over de x-as als de y-as bewogen moet worden. De stappenmotoren voor dit project gekozen zijn de Nema 17 stappenmotoren, deze zijn namelijk goedkoop maar wel krachtig genoeg.



Arduino:

Een arduino is een makkelijk te programmeren microcontroller, over het programmeren van een arduino is veel te vinden op het internet waardoor dit een goede keuze voor het project is. De arduino zal als een soort van moederbord van de CNC machine werken.



Stappenmotor Driver:

Een driver is een klein bord wat de benodigde 12V voor de motor kan doorsluizen, omdat de arduino maar 5V kan leveren. Hier kan de motor niet op werken en er is dus een driver nodig, want de opdrachten die de motor moet doen worden nog steeds verstuurd met 5V vanaf de arduino. Een driver zit dus tussen de motor en het moederbord in en is aangesloten op 12V, waardoor hij de opdrachten van de arduino vertaalt voor de motor en deze voorziet van de 12V zonder dat de arduino daar last van heeft. In dit project is als driver de DRV8825 driver gebruikt, hij werkt tussen de 12V en

24V en kan met 2,5 ampère werken. Deze driver is gekozen voor dit project, omdat het de goedkoopste driver is en het geschikt is voor het besturen van de stappenmotoren.



Microschakelaars:

De microschakelaars zijn kleine schakelaars, die als ze worden ingedrukt, via de arduino ervoor kunnen zorgen dat de motoren stoppen met draaien, hierdoor weet de arduino wanneer de motor op het einde van de as zit. Dit is vooral belangrijk voor het vinden van de hoeken van het schaakbord, maar ook voor het voorkomen dat de motor de rest van het project kapot maakt doordat hij niet weet waar hij moet stoppen.



Assen:

De assen in dit project zorgen ervoor dat er een stellage vormt, waar de bewegende onderdelen overheen kunnen geleiden. In dit project zijn assen van assenstaal gekozen met een diameter van 10 mm, het assenstaal zorgt ervoor dat de bewegende onderdelen er soepel overheen kunnen lopen.



Lagers:

De lagers zorgen ervoor dat de onderdelen die moeten bewegen zonder weerstand, kunnen bewegen over de assen.



Tandriempoelies:

Poelies zijn de tandwielen die ervoor zorgen dat de rotatie van de stappenmotor via een tandriem kan zorgen voor beweging van het onderdeel wat er bewogen moet worden. De enige eis van de poelies zijn dat ze een binnendiameter hebben van 5 mm zodat ze op de nema 17 stappenmotor as passen.



Tandriem:

De tandriem zorgt ervoor dat de beweging van de stappenmotor wordt doorgegeven aan de onderdelen die moeten bewegen.



Hout:

Het hout wordt gebruikt om de behuizing van de CNC machine en de schaakstukken te maken. Het is allemaal hergebruikt hout.



Plexiglas:

Het plexiglas dient als afdekking en drager voor het schaakbord en zorgt ervoor dat de hardware van de machine nog steeds te zien is.



Vinyl tape:

Dit tape is gebruikt om het schaakbord op het plexiglas te tapen.



Bedrading:

De bedrading zorgt ervoor dat de verschillende onderdelen die stroom nodig hebben kunnen worden gekoppeld aan of de arduino of de 12V.



Elektromagneet:

Een elektromagneet is een magneet die magnetisch is als er stroom doorheen loopt, dit zorgt ervoor dat hij op commando van het moederbord wel of niet magnetisch kan worden. De elektromagneet wordt gebruikt om de schaakstukken door het bord heen vast te houden als er stroom doorheen loopt, te verplaatsen en op het eindpunt weer los te laten door de magneet niet meer van stroom te voorzien. Dit onderdeel wordt verplaatst door de CNC machine. De elektromagneet moet sterk genoeg zijn om schaakstukken te verplaatsen door het bord heen, maar moet niet te sterk zijn, want anders zou het de beweging van de CNC machine kunnen belemmeren of zelfs de CNC machine kapot kunnen trekken. Voor dit project is een elektromagneet gekozen met een trekkracht van 100 N, dit is sterk genoeg om de stukken te verplaatsen, maar te zwak om niet de CNC machine kapot te maken. 100 N lijkt heel erg krachtig, maar de plexiglas plaat is erg dik en om de stukken goed mee te nemen is dus een sterke magneet nodig. Deze elektromagneet loopt op 12V en kan dus net als de motoren niet direct worden aangestuurd door de arduino.



H-bridge:

De H-bridge is net als de motor een driver, maar dan voor de elektromagneet en zorgt ervoor dat de elektromagneet die normaal op 12 V wordt aangestuurd nu kan worden aangestuurd door een arduino die maar 5 V levert.



12 V stroomvoorziening:

De 12 V stroomvoorziening maakt van de 230 V uit het stopcontact 12 V en stuurt dit door naar de drivers die het vervolgens weer naar de motor sturen.

**Condensator 100 µF:**

De condensator wordt geplaatst tussen de stroomvoorziening en de driver en zorgt ervoor dat stroompieken vanuit de stroomvoorziening worden tegengehouden en niet doorkomen tot aan de driver waar deze mogelijk dingen kapot kan maken.

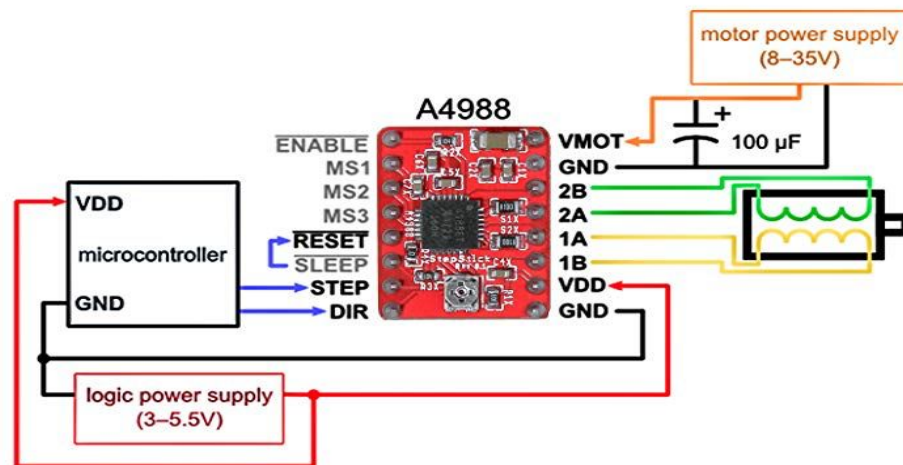
Het bouwen van de CNC machine:

Een van de allerbelangrijkste dingen bij het bouwen van een CNC machine is dat de bewegende onderdelen met een zo klein mogelijke weerstand kunnen bewegen over de assen. Hier moet op ieder moment op worden gelet, als er namelijk een klein beetje weerstand is is de CNC machine niet meer precies. Het is dus van grootst belang dat alles goed op elkaar is afgestemd. Om dit te bereiken is er in dit project ervoor gekozen om de bewegende onderdelen te 3D printen, dit zorgt ervoor dat de passings van de lagers nagenoeg perfect is en het zorgt er daardoor voor dat de bewegende onderdelen met zo min mogelijk weerstand over de assen geleiden en tegelijk is dit een eenvoudige manier om assen die loodrecht op elkaar staan met elkaar te verbinden. Waar op moet worden gelet is dat de gaten waar later de lagers of assen in komen ongeveer 0,5 mm wijder moeten omdat het anders niet past. Tegenoverliggende gaten moeten precies op elkaar afgestemd zijn zodat later bij montage alles precies in elkaar past. Zie extra bestanden voor de ontwerpen van de 3D onderdelen.

Voor het bouwen van de behuizing van de CNC machine is hout gebruikt, het is namelijk makkelijk te bewerken. De afmetingen van de CNC machine zijn 64 cm bij 64 cm, het moet namelijk niet te groot zijn doordat het anders niet meer verplaatsbaar is door het huis en toepasbaar is, maar tegelijk zou het als het te klein wordt heel moeilijk te bewerken zijn en zouden de vlakken van het schaakbord heel klein worden. 64 cm bij 64 cm is precies goed, doordat er voor het daadwerkelijke bereik van de CNC machine ook nog centimeters afgaan aan alle randen door assen en motoren is het daadwerkelijke bereik waarin de elektromagneet stukken kan verplaatsen 43 cm bij 43 cm geworden.

Bedrading:

De bedrading van de CNC machine is vaak eenvoudig te begrijpen, het was alleen ingewikkeld rondom de drivers voor de stappenmotoren, deze hebben verschillende pinnen die allemaal met iets anders moeten worden verbonden. Hier een legenda van de driver. Van rechtsboven naar beneden:



Vmot moet verbonden worden met de pluspool van de 12V.
GND moet verbonden worden met de minpool van de 12V.
B2 moet verbonden worden met de blauw draad van de motor
B1 moet verbonden worden met de rood draad van de motor
A2 moet verbonden worden met de groen draad van de motor
A1 moet verbonden worden met de zwart draad van de motor
FAULT moet verbonden worden met de pluspool van de arduino
GND moet verbonden worden met de minpool van de arduino
Van linksboven naar beneden:

De eerste 4 pins kunnen open blijven doordat deze ervoor zorgen dat de motor in verschillende stappen draait, bijvoorbeeld als je hem in 1/16 stappen wil laten draaien. Voor de CNC machine is dit niet nodig.

RESET en SLEEP moeten allebei stroom van de arduino ontvangen en moeten dus aan de pluspool worden aangesloten.

De step moet worden aangesloten aan een pin naar keuze van de arduino, let erop dat deze pin goed staat aangegeven in de code. Deze pin geeft aan of de motor draait of niet.

De dir pin moet worden aangesloten aan een pin naar keuze van de arduino, let er wederom op dat deze pin goed staat aangegeven in de code. Deze pin geeft aan of de motor met of tegen de klok in draait.

Zoals je ziet heeft de driver een schroef, deze wordt gebruikt om in te stellen hoeveel stroom er door het bord heen loopt. In dit project moet en 0,6 V door het bord lopen, dit kun je wijzigen door deze schroef te draaien. Je meet hoeveel volt er doorheen loopt door de driver aan de 12 V en de 5 V van de arduino aan te sluiten, echter de motor nog los te koppelen, door met een Voltmeter vervolgens de spanning tussen de schroef en de GND rechtsonder te meten kan je meten hoeveel spanning er door de driver loopt, door de schroef te draaien pas je dit aan.

De elektromagneet is heel eenvoudig aangesloten, deze is met een draad aan de minpool van de arduino en met de andere aan een pin naar keuze aangesloten, ook hier moet weer worden opgelet dat de pin naar keuze dezelfde is als in de code.

De twee schakelaars zijn ook aan de min en plus pool aangesloten van de arduino, maar tussen de negatieve pool en de schakelaar zit nog een draad naar een pin naar keuze, wederom moet dit wel correct aangepast in de code, en een weerstand. Door deze draad naar een pin kan worden afgelezen wat de stand is van de schakelaar.

De x-assen zijn met elkaar verbonden door een 3D geprint onderdeel met lagers erin, vervolgens via een houten constructie zijn aan deze 3D geprinte onderdelen aan een kant een motor en aan de andere kant een vrijlopend poelie die dient als omloop wiel, aan de assen zit het tweede 3D geprinte onderdeel, waar de elektromagneet aan zit, deze zit vastgelijmd aan het gespannen tandriem tussen de twee kanten, zie foto.

De y-as zit vast in de behuizing en het bewegende 3D onderdeel zit vast aan deze as, deze zit vastgelijmd aan de tandriem die tussen de motor aan de ene kant en een as aan de andere kant is gespannen, deze as neemt als het tandriem draait ook een poelies op dezelfde as mee die weer terug is gespannen naar een lopende poelie aan de andere kant met een tandriem, die aan de andere kant is vastgelijmd aan het 3D onderdeel, hierdoor neemt een motor allebei de kanten mee van de as waardoor deze beweegt zonder te klemmen.