



# Aansturing freesbank

Stage verslag  
Sens2Sea

**Olaf Goudriaan**

Geert Mosterdijk  
TINSTG05  
Wessel Oele, Renee van Dorn  
1071349  
2025 - 2026

# Contents

<b>1 Context</b>	<b>2</b>
1.1 Het bedrijf . . . . .	2
1.2 Opdracht . . . . .	2
1.3 Scope . . . . .	3
1.4 Mogelijke oplossingen . . . . .	3
<b>2 Analyse</b>	<b>4</b>
2.1 Huidige situatie . . . . .	4
2.1.1 Huidige functies . . . . .	4
2.1.2 Oplossingen . . . . .	5
2.1.3 Nieuwe functies . . . . .	5
2.1.4 Software . . . . .	7
2.2 Requirements . . . . .	8
<b>3 Ontwerpen</b>	<b>8</b>
3.1 Software ontwerpen . . . . .	8
3.2 Hardware ontwerpen . . . . .	10
3.3 Encoder bevestigings punt Z-as . . . . .	10
<b>4 Realisatie</b>	<b>10</b>
<b>5 Test Rapport</b>	<b>10</b>
5.1 De snij kop van de machine moet over de X, Y en Z as kunnen bewegen. . . . .	10
5.2 De positie van de snij kop op een as moet bepaald worden doormiddel van sensoren. . . . .	11
5.3 Er kan g-code uitgevoerd worden door de freesbank. . . . .	11
<b>6 Aanbevelingen</b>	<b>12</b>
<b>7 Bronnen</b>	<b>13</b>
<b>A Encoder onderzoek</b>	<b>13</b>
A.1 Meet methodes . . . . .	14
A.2 Encoder soorten . . . . .	15
<b>B elektrische schema's</b>	<b>17</b>
<b>C Plaatjes systeem</b>	<b>19</b>

**Voorwoord** Ik dank hierbij iedereen die heeft geholpen met de stage. Ik ben veel gegroeid in dit half jaar in hard en soft skills.

naam file  
aanpassen

## 1 Context

### 1.1 Het bedrijf

De stage heeft plaatsgevonden bij het bedrijf Sens2Sea. Sens2Sea is een klein bedrijf dat gevestigd is op het RDM terrein. Het bedrijf heeft een kavel in het Innovation Dock. Sens2Sea ontwikkelt radar technologieën voor sectoren zoals de scheepsvaart en andere maritieme sectoren. Het bedrijf wordt geleid door Geert Mosterdijk. Het bedrijf heeft maar een paar medewerkers. Deze zijn gespecialiseerd in hun vakgebieden zoals: elektronica en software. Verder lopen er bij Sens2Sea een aantal studenten stage van verschillende opleidingen. Het bedrijf werkt voor projecten samen met andere bedrijven. Deze bedrijven zijn tevens de stakeholders voor de projecten. Voor dit bedrijf geldt het volgende:

1. Sens2Sea. De opdracht is voor Sens2Sea, dit bedrijf bepaalt welke beslissingen gemaakt worden. Dit bedrijf heeft mensen in dienst die expertise bieden op gebied van elektronica en software. (Hoge invloed en Hoog belang)
2. PKMarine. Dit bedrijf werkt samen met Sens2Sea en bied expertise in regeltechniek. (Hoge invloed, laag belang)
3. CoE HRTech. Dit bedrijf financiert het project. (Lage invloed en hoog belang)

### 1.2 Opdracht

Sens2Sea is bezig met radar technologie. Radar is een technologie die radiogolven gebruikt om, t.o.v. de positie van de radar, de afstand, snelheid en richting van objecten te bepalen. Radar kan gebruikt worden in goed en slecht weer. Hierdoor is het uitstekend geschikt om objecten te detecteren in sectoren zoals de scheepsvaart. Ook kan radar technologie gebruikt worden om de zeebodem in kaart te brengen en om olievlekken te detecteren.

Sens2Sea is sinds kort bezig FMCW (Frequency Modulated Constant Wave) radar technologie. Hiervoor wilt Sens2Sea parabool antennes gebruiken. Deze antennes zorgen ervoor dat de radiogolven gebundeld worden. Door de bundeling van deze golven worden de signalen versterkt. Dit zorgt ervoor dat het beeld een betere resolutie heeft. Deze antennes zijn niet te verkrijgen in alle maten. Deze zouden custom op maat gemaakt moeten worden. Dit is ten opzichte van standaard geproduceerde maten een stuk duurder. Machines die al op de markt zijn en met een werkgrootte van 4m x 1m x 0.4m, groot genoeg zijn kosten tienduizenden euro's. Daarom wil Sens2Sea eigen antennes maken met een

eigen 3D freesbank. Deze opdracht omvat het realiseren van een nauwkeurige aansturing van een 3D freesbank.

### 1.3 Scope

Om een freesbank aan te sturen zijn er al opensource projecten zoals GRBL uitgevoerd. Deze projecten voldoen helaas niet aan de eisen omdat Sens2Sea wil dat de software en hardware makkelijk aanpasbaar is. Bovendien moet de freesbank over een afstand van vier meter nauwkeurig kunnen werken. Hiervoor is het van belang de aandrijving van de frees en de positie bepaling van de snij kop gescheiden te houden. Dit is niet het geval met deze opensource software zoals GRBL. Bij deze oplossingen bepaalt het systeem de positie van de kop door de stappen te tellen die de motoren moeten uitvoeren. Een probleem hiervan is dat de motoren een stap kunnen verspringen waardoor de gewenste kwaliteit van de vorm van de antenne niet kan worden gegarandeerd. Daarom wil Sens2Sea dat de positie van de snij kop door sensoren wordt bepaald opdat deze kop nauwkeurig kan worden gepositioneerd in zowel de X, Y en Z richtingen.

De scope van het project omvat het scheiden van de aandrijving en de positie bepaling van de snij kop. Daarnaast is er sprake van aanpassen of herschrijven van GRBL om deze te laten werken met de sensoren. Ook de hardware aansturen/aansluiten hoort bij de scope.

### 1.4 Mogelijke oplossingen

Een mogelijke oplossing voor het probleem zouden stepper motor met encoder kunnen zijn. Dit zou handig zijn omdat de code van GRBL niet aangepast hoeft te worden. Deze encoders zitten op de achterkant van de encoder en meten of de encoder wel de stap heeft gezet die die moet zetten. Indien hier een fout in zit zal de encoder compenseren.

Dit is voorgelegd aan de opdrachtgever. Maar dat is geen oplossing omdat afhankelijkheid van de fabrikant wordt gemaakt. Dit omdat de fabrikant de encoder bepaald op de motor en hierdoor de nauwkeurigheid van de encoder bepaald. Sens2Sea wilt een systeem dat aan te passen is naar de wensen die op dat moment belangrijk zijn. En indien nodig andere sensoren toevoegen/gebruiken voor de bepaling van de positie van de snij kop.

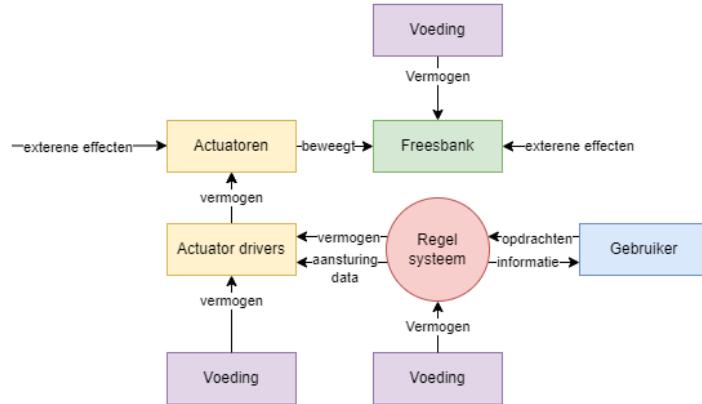


Figure 1: systeem diagram

## 2 Analyse

### 2.1 Huidige situatie

De huidige situatie bestaat uit een aantal functies die te zien zijn in het figuur ... . De functies die al aanwezig zijn, zijn de motor drivers, actuatoren, freesbank met frees en een regelsysteem.

figuur

#### 2.1.1 Huidige functies

**Freesbank** Het frame is gemaakt van hout. De werkruimte van het frame bedraagt 300cm in de lengte (X-as), 142,5cm in breedte (Z-as) en 8 cm in hoogte (Y-as). De werkelijke lengte van de freesbank is 251cm omdat de wagen op de rails aan beide kanten uitsteekt. Aan de zijkant is een verhoging dat 5cm breed is aan beide kanten. Hierop zijn geleiderails gemonteerd waarover de wagen beweegt. De effectieve werkbreedte is  $142.5 - 8 - 7 = 127.5$ cm omdat de frees niet helemaal tot de zijkant kan komen. Het hoogste punt van de wagen is 60cm boven het bed van de freesbank. Op deze wagen is een tweede railsysteem bevestigd voor de beweging in de breedte-as. Hierop bevindt zich een tweede wagen voor de hoogte-as. De hoogte beweging wordt gerealiseerd door middel van een draaiende schroef, waardoor de snij kop gecontroleerd omhoog en omlaag kan bewegen. Aan deze wagen is een frees gemonteerd. De aandrijving van de lengte- en breedte-as gebeurt met tandriemen. Deze lopen over de volledige lengte van de assen en worden aangedreven door timing pulleys. Dit zijn tandwielen voor tandriemen. In appendix is dit te zien

frees valt buiten scope,  
microstepping buiten  
scope, verwijzing  
datasheet?

nummer

Op de wagen van de hoogte-as is een handfrees gemonteerd. Deze frees werkt op net-

stroom. Als de frees snijt, komt er materiaal los. Dit hoopt op op de freesbank. De ophoping en frees aansturen met de microcontroller of een nieuwe frees zoeken is buiten de scope van het project.

De freesbank heeft externe invloeden zoals vrijving op de rails en uitrekking van de tandriemen.

**Actuatoren** De motoren die worden gebruikt voor de beweging van de assen zijn NEMA 17 motoren. Deze werken op 12-36V en mogen maximaal 2A hebben. De motoren zitten vast aan het frame met bevestigings punten. Aan de motoren zit een timing pulley bevestigd, waar een tandriet overheen loopt. De lengte as heeft motoren aan beide kanten van de freesbank. De hoogte en breedte assen worden aangedreven door één motor.

**Drivers** De drivers die worden gebruikt voor de motoren zijn DRV8824 drivers. Deze drivers werken op 8.2-45V en mogen maximaal 2.5A hebben op 24V. Deze drivers maken gebruik van een STEP en DIR pin. Door de DIR pin hoog en laag te maken veranderd de polariteit over de aangesloten motor. Door de STEP pin hoog te maken zet de motor een stap. Deze drivers hebben ook de mogelijkheid om te microsteppen. Microsteppen maakt gebruik van sinusvormige stromen om meer nauwkeurigheid en hogere resolutie te krijgen. De drivers krijgen voeding van een labvoeding en het regelsysteem.

**Regelsysteem** Het systeem wordt geregeld doormiddel van een arduino uno met een open-source regelsysteem GRBL. Dit is het onderdeel dat input van de gebruiker krijgt en informatie terug stuurd naar de gebruiker.

### 2.1.2 Oplossingen

In interviews met de opdrachtgever is voorgelegd of een steppermotor met ingebouwde encoders een oplossing zou zijn. Hierdoor zou de code van GRBL niet aangepast hoeven worden. Deze encoders zijn closed loop en controlleren of de stappen motor de stap zet die moet zetten en de fout kan herstellen. De opdrachtgever gaf aan dat dit niet de gewenste oplossing is, omdat er dan een afhankelijkheid van de fabrikant word gemaakt. Dit omdat de fabrikant bepaald welke encoder op de stappenummer komt, waardoor de fabrikant bepaald hoe nauwkeurig de freesbank kan zijn. Ook wilt Sens2Sea het systeem gemakkelijk kunnen aanpassen wanneer er meer nauwkeurigheid gewenst is.

### 2.1.3 Nieuwe functies

**Sensor** Uit een interview met de opdrachtgever is gebleken dat de opdrachtgever encoders wilt gebruiken en wilt bevestigen op een getande riem die op het frame is geplakt. Hierdoor kan de getande riem niet uittrekken. De nauwkeurigheid van de encoder is niet

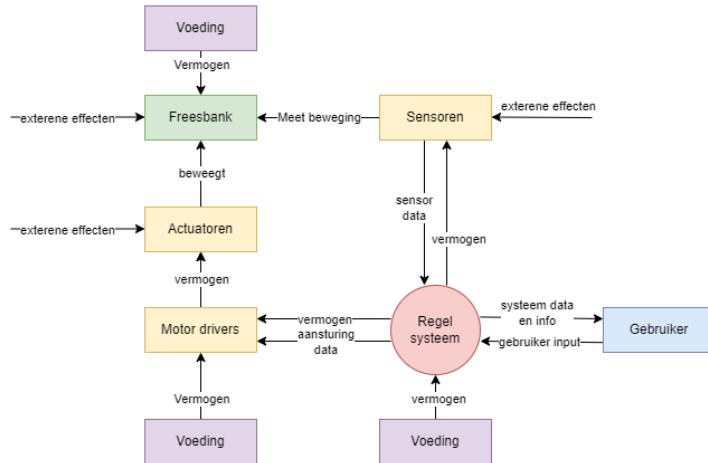


Figure 2: Nieuw systeem diagram

het belangrijkste omdat het project gaat over het scheiden van de aandrijving van de frees en positie bepaling van de snij kop. Verder doen de kosten er toe, maximaal 60 euro per encoder. Ook is er belang bij dat de huidige positie opvragen snel kan aangezien een freesbank een high performance machine is. Er zijn verschillende soorten encoders die verschillend werken. De nauwkeurigheid van een encoder wordt gemeten in Pulses Per Rotation(PPR). Dit geeft aan dat hoe hoger de PPR is de hoger de nauwkeurigheid omdat er meer pulsen gegeven worden in dezelfde rotatie. Na het onderzoek zijn de opties voorgelegd aan de opdrachtgever en is er gekozen om een optische incrementale encoder te gebruiken. Er zijn ook externe invloeden op de encoder zoals vuil dat in de encoder komt, dat de metingen kan verstören.

**Regelaar** Als regelaar is een microcontroller nodig. De keuze van de encoder zorgt ervoor dat de microcontroller 6 interrupt pinnen nodig heeft. Verder moet deze rond de specificaties zijn als een arduino uno. Dit is omdat opensource oplossingen zoals GRBL gebaseerd zijn op een arduino uno. Hierom is voorgesteld om een arduino mega te gebruiken. Deze microcontroller heeft voldoende rekenkracht voor dit soort applicaties. Hiernaast heeft deze microcontroller ook de benodigde 6 interrupt pinnen voor de drie verschillende assen. Daarnaast bieden de vele pinnen mogelijkheden om het systeem uit te breiden.

Na de opties voorgelegd te hebben aan de opdrachtgever zijn er optische incrementale encoders (me38s6-c-(600)b5g2) besteld. Hiernaast is er ook een Arduino mega besteld.

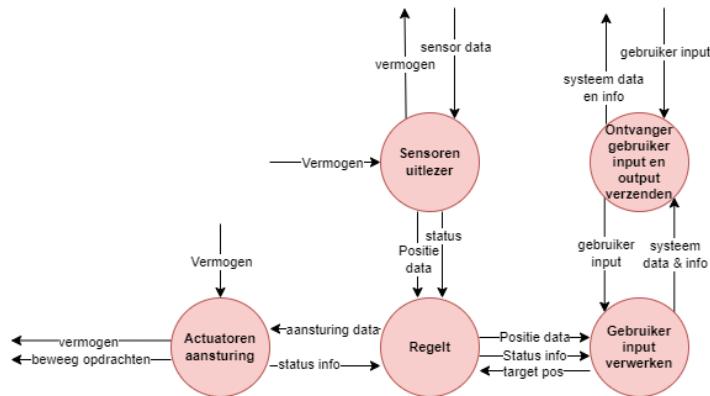


Figure 3: microcontroller systeem

#### 2.1.4 Software

De software op de microcontroller bestaat uit verschillende onderdelen zoals te zien is in het figuur. Hoe de voeding binnen de microcontroller loopt is weggelaten. De datstromen zijn ook te zien in het figuur.

**Actuatoren aansturing** is het onderdeel wat de actuatoren aanstuurt. Dit onderdeel beïnvloed de pinnen om de motor driver aan te sturen.

**Sensoren uitlezer** is het onderdeel dat de sensoren uitleest. Hierna zet de sensor de data om naar bruikbare positie data.

**Gebruiker input en output** is het onderdeel dat de data ontvangt en verstuurd van de gebruiker.

**Gebruiker input verwerker** is het onderdeel dat de input van de gebruiker verwerkt en omzet naar bruikbare opdrachten. Ook zend dit onderdeel opdrachten naar de regelaars. Ook handelt dit onderdeel alle andere opdrachten voor het systeem af. Dit zijn opdrachten zoals status opvragen en terug sturen, andere opdrachten voor de bewegingen die niet afgehandeld door de regelaars.

**De regelaars** zijn de onderdelen die per as bepalen hoe de actuatoren bewogen moeten worden. Dit doen ze door de positie data van de sensor uitlezer te vergelijken met de positie waar de actuator moet zijn.

## 2.2 Requirements

Uit de analyse en aan de hand van meerdere interviews met de opdrachtgever zijn de volgende requirements opgekomen.

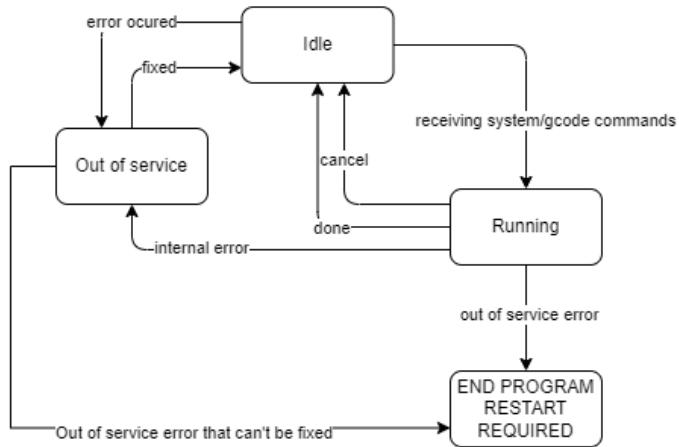
Requirement	User story	Acceptatie	soort
De snij kop van de machine moet over de X, Y en Z as kunnen bewegen.	Als opdrachtgever wil ik dat de machine zich over de X, Y en Z as kan bewegen.	Als de kop zich over de X, Y en Z as kan bewegen.	Funct.
De positie van de snij kop op een as moet bepaald worden doormiddel van sensoren.	Als opdrachtgever wil ik dat de machine de positie van de kop bepaald doormiddel van sensoren om de nauwkeurigheid te garanderen.	Als de positie van de snij kop op een as bepaald wordt door een sensor.	Funct.
Er kan g-code uitgevoerd worden door de freesbank.	Als opdrachtgever wil ik een g-code bestand laten uitvoeren door de freesbank.	Als de machine g-code kan uitvoeren.	Funct.
De code van het prototype moet modular zijn waardoor gemakkelijk delen vervangen kunnen worden, zoals actuatoren en sensoren.	Als opdrachtgever wil ik gemakkelijk onderdelen kunnen vervangen en toevoegen aan de machine, zonder dat de hele code omgebouwd moet worden.	Als er in de code van de machine componenten toegevoegd, vervangen of verwijderd kunnen worden.	Niet Funct.

## 3 Ontwerpen

### 3.1 Software ontwerpen

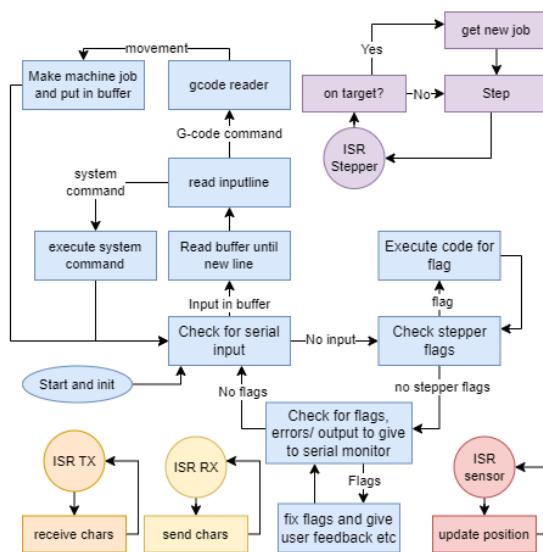
Voor de software zijn verschillende ontwerpen gemaakt. Hieronder vallen de state machine, software flowchart en sequentie diagram.

**State machine** In software diagram A is de state machine te zien. Hierin is te zien in welke states het systeem zich kan bevinden. Het systeem start bij 'Idle'. Hierna kan het systeem opdrachten krijgen waardoor de state 'Running' wordt. De opdrachten kunnen klaar zijn of worden geannuleerd. Hierna wordt de state veranderd naar 'Idle'. Er kunnen fouten optreden, Als dit gebeurt zijn er 2 states. Indien het systeem fouten vind dat deze zelf kan verhelpen veranderd de state naar 'Out of service'. Indien de fouten niet te verhelpen zijn moet er een restart komen door een mens en zal de state 'END PROGRAM RESTART REQUIRED' worden. Uit deze state kan niet terug gekomen worden door de machine dus is er een restart nodig.



Software diagram A: State machine.

**Flowchart** In software diagram B is een flowchart te zien. De flowchart is verdeeld in meerdere kleuren. Oranje en geel zijn interrupts voor de input van de gebruiker. Rood is de interrupt van de senzoren en paars de interrupt die de motoren aanstuurt. Het blauwe gedeelte is de main loop die input, errors en het maken van opdrachten afhandelt. Als er een input van de gebruiker komt, wordt die gelezen. Indien het een systeem command is zoals de status opvragen zal die meteen worden afgehandeld door 'execute system command'. Anders word de G-code gelezen en in de rij queue gezet. Als het G-code commando meteen afgehandeld moet worden, zal dat gedaan worden.



Software diagram B: Flowchart.

## sequentie diagram

### 3.2 Hardware ontwerpen

**Elektrische schema** Voor het elektrisch schema zijn twee schema's gemaakt die te vinden zijn in appendix B. Het eerste ontwerp is gemaakt voor de aansturing op een as. Dit schema bevat een arduino uno, encoder, DRV8824 motor driver en een NEMA17 stepper motor. Het tweede elektrische schema is het schema voor de drie assen. Dit schema bevat een arduino mega, 3x encoder, 3x DRV8824 motor driver, 3x NEMA17 stepper motor.

controleren  
appendix  
nummer

### 3.3 Encoder bevestigings punt Z-as

De encoder moet lopen over een randriem die vast zit op de Z-as. Hiervoor is een beugel nodig

bevestiging  
encoder iter-  
aties,

## 4 Realisatie

### 5 Test Rapport

In dit plan worden de eisen/requirements van het prototype getest om te kijken of ze behaald zijn.

Work in  
progress

#### 5.1 De snij kop van de machine moet over de X, Y en Z as kunnen bewegen.

**Acceptatiecriteria:** Deze test is voldaan als de kop van de machine kan bewegen over de drie bewegingsassen ( $x, y, z$ ).

**Testopstelling** Deze test kan alleen op de machine worden uitgevoerd. Benodigd hiervoor is:

1. Freesbank met de opstelling voor 3 assen
2. Handleiding

work in  
progress

#### Instructies

1. Volg de handleiding om de machine aan te zetten.
2. Stuur een opdracht naar de machine via de serial monitor om over alle drie de assen te bewegen.
3. Kijk of alle drie de assen bewegen.

**Verwacht resultaat** Het verwachte resultaat is dat de kop van de machine beweegt naar het punt uit de instructies.

**Waarnemingen en conclusie** De freesbank beweegt zich over de drie assen naar het aangewezen punt en alle drie de assen komen tegelijkertijd aan op dat punt. Dus deze test is voldaan.

## 5.2 De positie van de snij kop op een as moet bepaald worden doormiddel van sensoren.

**Acceptatiecriteria:** Deze test is voldaan als de locatie van de snij kop op een as te bepalen is doormiddel van een sensor.

**Testopstelling** Deze test kan alleen op de machine worden uitgevoerd. Benodigd hiervoor is:

1. Freesbank met de opstelling van minimaal 1 as waaraan een sensor bevestigd is.
2. Handleiding

### Instructies

1. Volg de handleiding om de machine aan te zetten.
2. Indien nodig voeg de onderdelen voor de sensor toe aan de code.
3. Stuur een opdracht naar de machine via de serial monitor om over de gekozen as te bewegen.
4. Kijk of de as beweegt.
5. Voer het commando uit om informatie op te vragen (?) om te controleren of de sensor de beweging meet.

**Verwacht resultaat** Het verwachte resultaat is dat de kop van de machine beweegt over de gekozen as, en dat de sensor de beweging meet.

**Waarnemingen en conclusie** De sensor meet de bewegingen over de as waar die aan vast zit. Dus deze test is voldaan.

## 5.3 Er kan g-code uitgevoerd worden door de freesbank.

**Acceptatiecriteria:** Deze test is voldaan als de machine g-code kan uitvoeren.

**Testopstelling** Deze test kan alleen op de machine worden uitgevoerd. Benodigd hiervoor is:

1. Freesbank met de opstelling van minimaal 1 as.
2. Handleiding

**Instructies:**

1. Volg de handleiding om de machine aan te zetten.
2. Stuur een opdracht naar de machine via de serial monitor. De opdrachten die gebruikt kunnen worden zijn te vinden in de handleiding.
3. Controleer of de freesbank de opdracht uitvoert en een OK terug stuurt.

**Verwacht resultaat** Het verwachte resulataat is dat de machine de g-code uitvoert en een OK terug stuurt.

**Waarneming en conclusie** Als de machine de opdracht krijgt stuurt die 'OK' terug en daarna voert de machine de opdracht uit.

## 6 Aanbevelingen

Bij deze opdracht zijn meerdere onderdelen aan bod gekomen waar dit project niet aan toe gekomen is.

1. Er zijn modules waarmee de encoders makkelijker uit te lezen zijn. Hier moet onderzoek naar gedaan worden.
2. rotzooi afzuigen frees
3. calibratie
4. zorgen volledige werkruimte benutten.
5. microcontroller en voeding niet mee laten bewegen met de freesbank, dus de alleen de kabels voor de stroom.
6. zorgen dat de machine geen bewegings commandos aanneemt als de buffer vol is.
7. pcb maken voor alle steppermotoren

aanbevelingen  
toevoegen

## 7 Bronnen

1. Wikipedia contributors, "Radar," Wikipedia, The Free Encyclopedia (Dutch version). [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Radar>. Accessed: Jan. 6, 2026.
2. Wikipedia contributors, "Radar," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Radar>. Accessed: Jan. 6, 2026.
3. Wikipedia contributors, "Incremental encoder," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental_encoder). Accessed: Jan. 6, 2026.
4. Wikipedia contributors, "Rotary encoder," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder). Accessed: Jan. 6, 2026.
5. Laumans Techniek, "Encoders voor industriële automatisering," Laumans Techniek. [Online]. Available: <https://www.laumanstechniek.nl/blog/kennisbank-3/encoders-voor-industriële-automatisering-20>. Accessed: Jan. 6, 2026.
6. PBC Linear, "Stepper Motor Support: NEMA 17 Data Sheet," PBC Linear. [Online]. Available: <https://media.pbclinear.com/pdfs/pbc-linear-data-sheets/data-sheet-step.pdf>. Accessed: Jan. 6, 2026.
7. Texas Instruments, "DRV8824 Stepper Motor Controller IC," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8824.pdf>. Accessed: Jan. 6, 2026.
8. Linear Motion Tips, "Microstepping Basics," Linear Motion Tips. [Online]. Available: <https://www.linearmotiontips.com/microstepping-basics/>. Accessed: Jan. 6, 2026.
9. Dynapar, "Magnetic Encoders," Dynapar Knowledge Center. [Online]. Available: <https://www.dynapar.com/knowledge/encoder-basics/encoder-technology/magnetic-encoders>. Accessed: Jan. 8, 2026.
10. Wikipedia contributors, "Gray code," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gray\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/Gray_code). Accessed: Jan. 8, 2026.

code in bijlage linken

## A Encoder onderzoek

Voor de positie van de snij kop van een freesbank te bepalen zijn verschillende mogelijkheden. Uit een interview met de opdrachtgever is gekomen dat deze encoders wilt gebruiken.

Een encoder is een sensor met een roterende as. Als deze as draait zet de encoder de beweging om in elektrische signalen. Hierdoor kunnen microcontrollers de positie, snelheid en richting bepalen. De encoders zijn onder te verdelen in verschillende soorten: Incrementeel of absoluut. Ook zijn er verschillende meet methodes: Magnetisch of optisch. Er zijn ook encoders die lineair zijn, maar daarvan heeft de opdrachtgever aangegeven dat die niet bruikbaar zijn. Bij de keuze moet ook rekening gehouden worden met dat de prijs van een sensor onder de 60 euro moet blijven.

## A.1 Meet methodes

Er zijn verschillende manieren om de beweging te meten. Hiervoor zijn optisch en magnetisch de meest gebruikte technologieën.

**Magnetisch** Magnetische encoders maken gebruik van een magnetisch veld om de rotatie van de as te bepalen. Dit heeft het voordeel dat deze robuuster zijn. Hiernaast zijn deze ook beter bestand tegen vervuiling, trillingen en extreme omgevingsomstandigheden. Het nadeel is dat sterke magnetische velden metingen van andere sensoren kunnen beïnvloeden. Er zijn ook drie grote groepen magnetische encoders.

1. **Magnetic Gear Tooth Sensor or Pickup**, Deze encoder heeft een magnetische sensor en een ferromagnetische tandwiel. Dit betekent dat het tandwiel in staat is om een magnetisch veld te geleiden. Het voordeel hiervan is dat deze goedkoop zijn, alleen zijn deze gelimiteerd door het aantal tanden. Dit limiteert de resolutie naar 120 of 240 PPR.
2. **Magneto-Resistive**, Deze encoder genereert een sinus golf door weerstand te meten op een wiel met afwisselende magnetische polen of een film met weerstanden. De afwisselende magnetische polen bieden een hogere nauwkeurigheid dan het film met weerstanden. Deze encoders zijn moeilijker om te integreren in een systeem.
3. **Hall-Effect magnetic**, Deze encoder maakt gebruik van het Hall-Effect. De encoder bevat een laag van een halfgeleider materiaal dat verbonden is met een voeding. Als een magnetische pool langs de hall-effect sensor komt, wordt er een hoge voltage gegenereerd. De frequentie en amplitude van de verstoring in het magnetisch veld kan worden gebruikt om de snelheid en verplaatsing te bepalen.

**Optisch** Optische encoders zijn encoders die gebruik maken van optische signalen om stappen te tellen. Dit doen deze encoders door een schijf met patronen dat vast zit aan de as. Door een lichtsensor worden deze patronen omgezet in elektrische pulsen. Deze sensoren bieden hoge resolutie en nauwkeurigheid. Hierdoor zijn deze encoders goed op plekken waar veel nauwkeurigheid verwacht wordt. Het nadeel van deze sensoren is dat deze gevoeliger zijn voor stof, vuil en trillingen.

A	B
0	0
1	0
1	1
0	1

Figure 4: Encoder sequentie

## A.2 Encoder soorten

**Incrementeel**, Incrementele encoders genereren pulsen als de as beweegt. Op de schijf zijn er 1 of meerdere rijen met patronen. die rijen heten kanalen en als er twee of meer kanalen zijn, is het mogelijk om de richting bepalen. Deze patronen zijn 1/4 patroon van elkaar verschoven. Hierdoor krijg je bij een encoder met twee kanalen een patroon in de signalen. Dit betekend ook dat deze hetzelfde aantal draden heeft als kanalen. Doordat de encoder een patroon volgt ten opzichte van een referentie punt, moet de microcontroller zelf de positie bijhouden. Hierdoor gaat de positiebepaling verloren als er een stroomonderbreking is.

Het aantal patronen per kanaal bepaalt de nauwkeurigheid. Indien een encoder meerdere kanalen heeft vergroot de nauwkeurigheid. bij 600 PPR (pulses per rotation) op één kanaal, heeft twee kanalen  $600 \times 4 = 2400$  PPR.

Het patroon van de signalen is in graycode. Dit patroon is te zien in figuur x. Graycode is een ander soort binaire code dat bij elke ophoging en verlaging één bit veranderd. De signalen moet je opvangen met een microcontroller via polling of interrupts. Interrupts zijn handiger omdat er dan geen data verloren kan gaan door een te kleine sample snelheid.

figuur nummer

De signalen moeten worden opgevangen door een microcontroller. Dit kan via polling of interrupts. Interrupts stoppen het programma en voeren hun code uit, hierna kan het programma weer verder gaan. Polling is een manier van input lezen door iedere keer te kijken of de data veranderd is. Interrupts zijn hiervoor beter omdat er bij polling data verloren kan gaan door een te lage sample snelheid. De andere kant is dat een microcontroller maar een bepaald aantal interrupts per seconde kan verwerken.

**Absolute**, Absolute encoders zijn encoders die elke positie op de schijf een unieke code geven. Hierdoor weet de encoder exact waar die zich bevindt in de rotatie. Hierdoor gaat de positie niet verloren als de spanning onderbroken is. Absolute encoders onthouden niet standaard het aantal rotaties die zijn gedaan. Hiervoor zijn multi-turn varianten. Absolute encoders moeten worden uitgelezen met een protocol zoals SPI. Op een Absolute encoder bepaalt het aantal bits hoe nauwkeurig de encoder is. Een multi-turn absolute encoder heeft x aantal bits per rotatie en x aantal bits voor het aantal rotaties.

Absolute encoders zijn duurder dan incrementele encoders. Van absolute zijn de multi-turn encoders duurder dan single-turn encoder.

	absolute	Incrementeel
Kosten	Duur	goedkoper
uitlezen	protocol	pulsen tellen
positie onthouden zonder stroom	ja	nee

Om zeker te weten of een incrementele encoder kan werken door middel van interrupts, is er een testje gedaan. Door de interrupt pin te verbinden met een andere pin die steeds hoog en laag gemaakt wordt, is er getest hoeveel interrupts de microcontroller kan krijgen in een seconde. Deze test geeft een idee hoeveel de microcontroller kan hebben. Hierin wordt de tijd gemeten door de tijd van de serial monitor.

Op tijdstip 1: 09:36:47.772 waren er 848785 interrupts geweest.

Op tijdstip 2: 09:36:53.204 waren er 1484065 interrupts geweest.

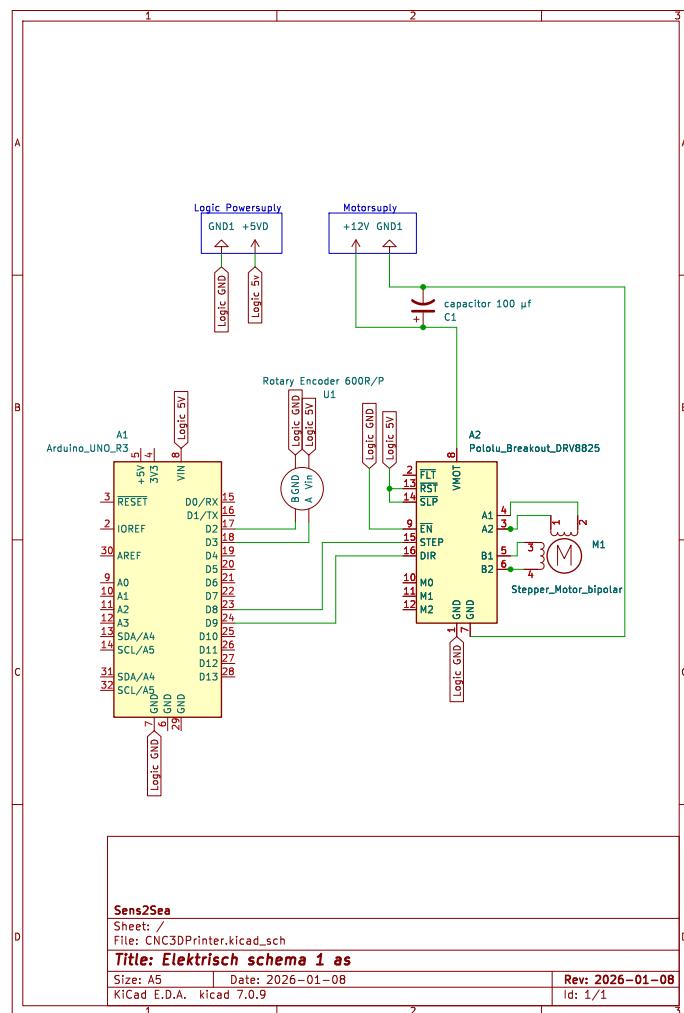
Dit betekent dat er in 5.432 seconde 635280 interrupts zijn geweest.

$$5.432/635280 \approx 116951 \text{ interrupts per seconde.}$$

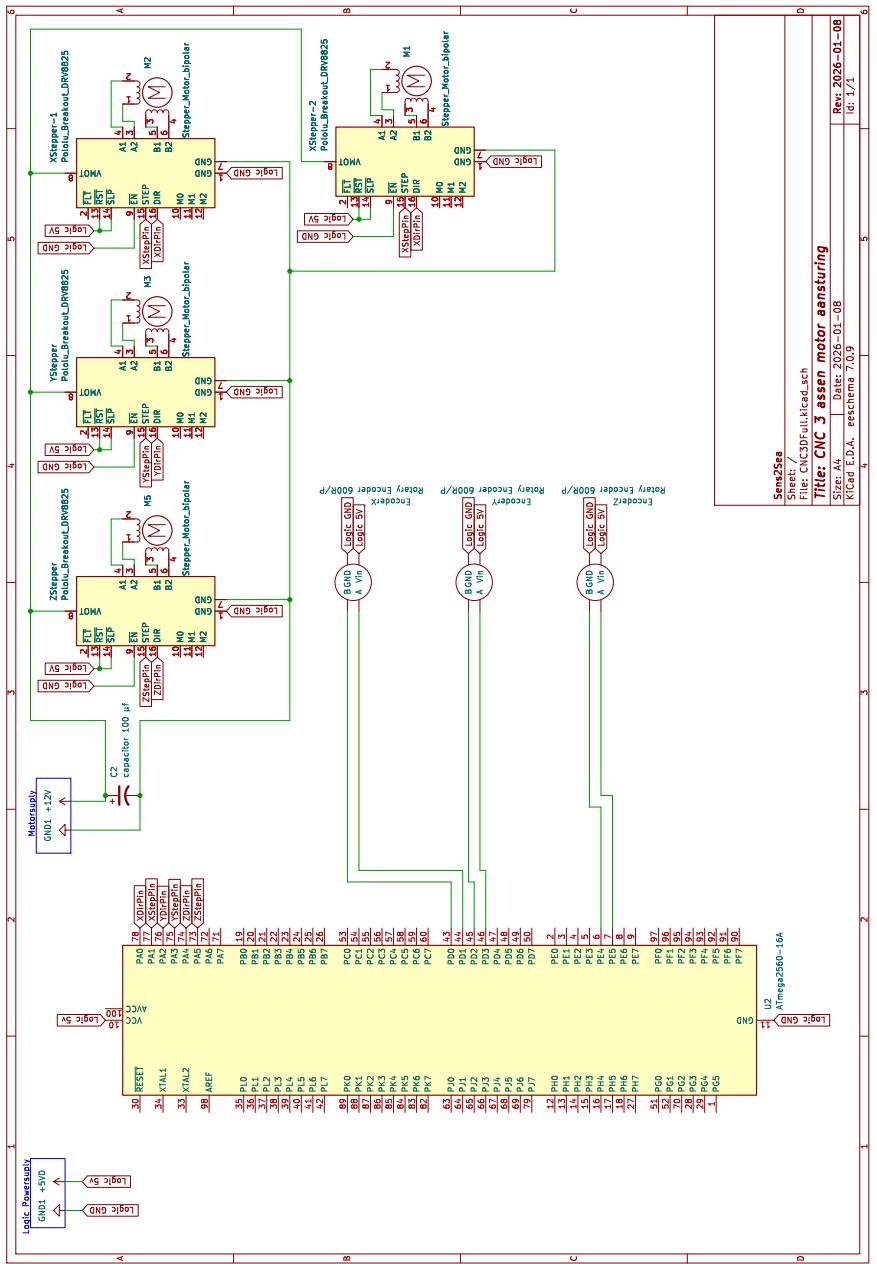
Een pulley van 16 tanden op een tandriem van 1mm tanden geeft 2mm op een tand.  $2 * 16 = 32$ mm per rotatie. Indien er 20000 interrupts per as gebruikt kunnen worden door de sensoren kan de freesbank in theorie  $20000/2400 * 32 \approx 266.6$ mm/s bewegen. Dit is genoeg dus deze soorten encoders zijn een optie.

Na de opties voorgelegd te hebben aan de opdrachtgever heeft de opdrachtgever gekozen voor een betaalbare optische incrementele encoder. Dit is uiteindelijk de 'me38s6-c-(600)b5g2' rotary encoder geworden. Deze encoder heeft 600 PPR per kanaal. Dus 2400 PPR in dual channel.

## B elektrische schema's

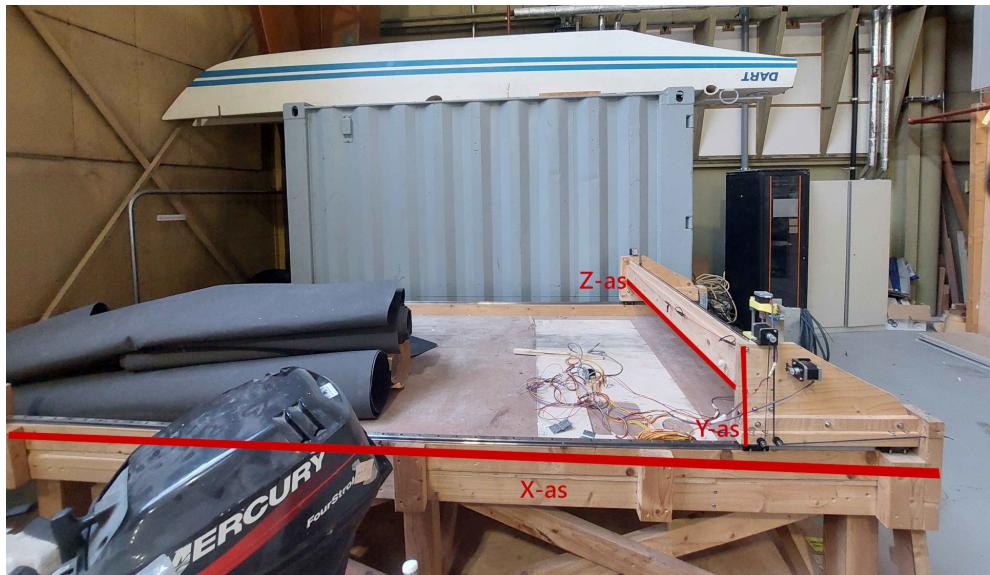


Elektrisch schema één as

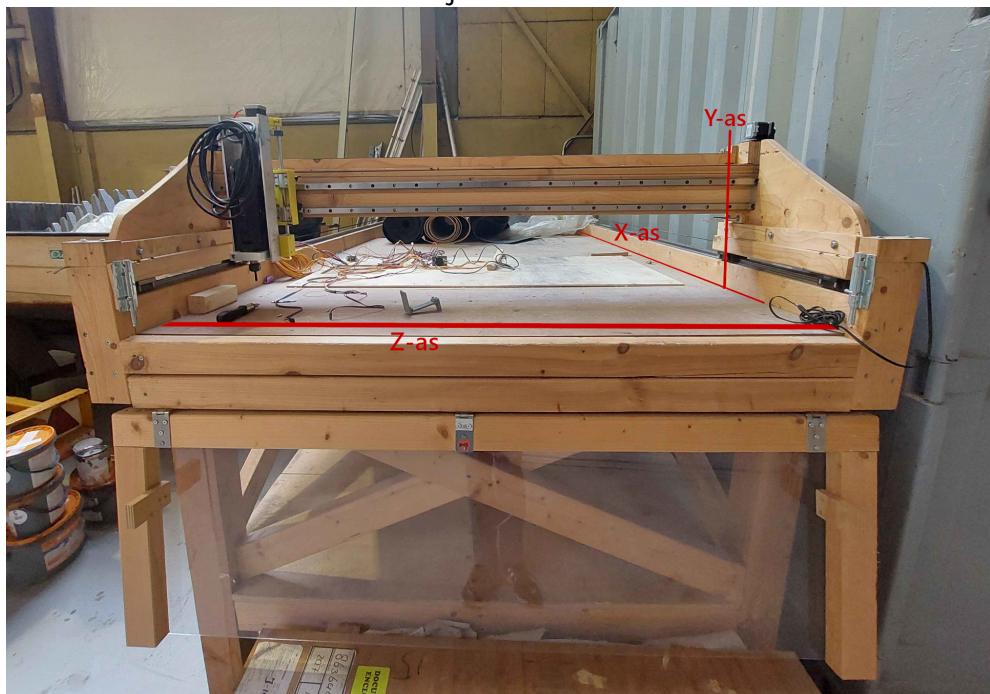


Elektrisch schema drie assen

## C Plaatjes systeem



Zij aanzicht



Voor aanzicht

## Changelog

Datum	verandering
1-12-2025	Begonnen met stage verslag maken van losse documenten
10-12-2025	Feedback verwerkt van studenten
05-01-2026	Document gereorganiseerd en analyse verbeterd
06-01-2026	Stakeholders verplaatst, spelling, onderzoek verplaatst/herschreven
08-01-2026	bijlage toegevoegd.
14-01-2026	ontwerpen toegevoegd en aan realisatie gewerkt