



Aansturing Freesmachine

Stage verslag
Sens2Sea

Olaf Goudriaan

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

Contents

1 Context	2
1.1 Het bedrijf	2
1.2 Opdracht	2
1.3 Scope	3
2 Analyse	3
2.1 Huidige situatie	3
2.1.1 Huidige onderdelen	3
2.1.2 Nieuwe onderdelen	4
2.2 Requirements	5
2.3 Closed loop	5
2.3.1 De kop van de machine moet over drie bewegingsassen bewegen.	6
2.3.2 De kop kan materiaal verwijderen	6
2.3.3 De positie van de kop wordt bepaald door sensoren.	6
2.3.4 Er kan g-code worden uitgevoerd met de machine.	6
2.3.5 De code moet modulair zijn	6
2.3.6 De kop van de machine moet over twee rotatie assen bewegen	7
3 Ontwerpen	7
3.1 Tekeningen en diagrammen	7
4 Test Rapport	7
4.1 De kop van de machine moet over drie assen bewegen	7
4.1.1 Acceptatiecriteria:	7
4.1.2 Testopstelling	7
4.1.3 Instructies	7
4.1.4 Verwacht resultaat	8
4.1.5 Waarnemingen	8
5 Aanbevelingen	8
6 Bronnen	8
7 Bijlagen	9
7.1 Encoder onderzoek	9
7.1.1 Meet methodes	9
7.2 Encoders	10
7.2.1 Incrementele encoder	10
7.2.2 Absolute encoder	11
7.2.3 Lineaire encoder	11
7.3 Requirements	11
7.4 Bijlage test code	11
8 Changelog	11

Voorwoord Dank gaat uit naar alle mensen die hebben meegeholpen aan deze stage. De medewerkers, begeleiders en andere mensen die hebben meegeholpen. Dit was een leerzame periode waarin veel geleerd is.

beter maken?
hoe???

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 technologieen 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. (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. Daarop, wil Sens2Sea eigen antennes maken met een eigen

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

1.3 Scope

Om een freesmachine 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 freesmachine over een afstand van 4 meter nauwkeurig kunnen werken. Hiervoor is het van belang de aandrijving van de frees en de locatie bepaling van de snijkop 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 qualiteit van de vorm van de antenne niet kan worden gegarandeerd. Daarom wil Sens2Sea dat de positie van de snijkop door sensoren wordt bepaald opdat deze kop nauwkeurig kan worden gepositioneerd in zowel de Y als de Z richtingen.

De scope van het project omvat het scheiden van de aandrijving en de locatie bepaling van de snijkop. 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.

2 Analyse

2.1 Huidige situatie

De huidige situatie bestaat uit de onderdelen in figuur In groen is aangegeven welke onderdelen al aanwezig zijn. Deze zijn: de motor drivers, motoren het frame en een frees. En in oranje is aangegeven welke onderdelen toegevoegd moeten worden.

figuur

2.1.1 Huidige onderdelen

Frame Het frame is gemaakt van hout. De werkruimte van het frame bedraagt x m in de lengte (X-as), xm in breedte (Y-as) en x m m in hoogte (Z-as). De totale buitenafmetingen van het frame zijn X m bij X m bij X m. langs beide zijden van de lengte-as zijn geleiderails gemonteerd. Hierover beweegt een wagentje. Op deze wagen is een tweede railsysteem bevestigd voor de beweging in de breedte-as. Hierop bevindt zich een tweede wagentje voor de hoogte-as. De hoogte beweging wordt gerealiseerd door middel van een draaiende schroef, waardoor de snijkop gecontroleerd omhoog en omlaag kan bewegen. Aan deze snijkop 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.

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

grootte van
freesbank

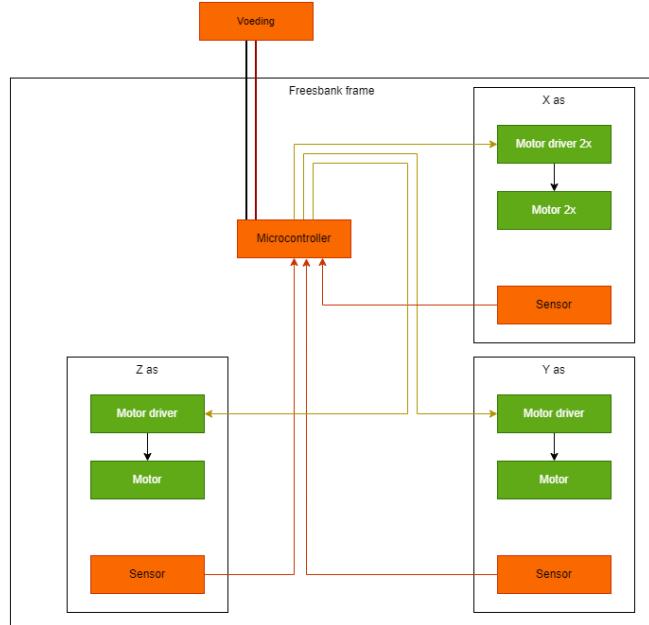


Figure 1: systeem diagram

Frees Aan de hoogte-as is een frees bevestigd. Dit is een handfrees die op netstroom werkt.

Motoren De motoren die gebruikt worden zijn NEMA 17 stappenmotoren. Deze motoren werken op 12-36V en mogen maximaal 2A hebben. Deze zitten bevestigd op het frame met brackets. Deze hebben een timing pulley waar de tandriem overheen loopt. De lengte as wordt aangedreven door 2 motoren. De breedte en hoogte assen worden aangedreven door 1 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.

2.1.2 Nieuwe onderdelen

lab voeding
gebruik ik,
custom valt
buiten scope

Voeding De voeding is niet aanwezig voor het systeem. De microcontroller heeft 5V nodig en kan worden aangesloten op een laptop of powerbrick voor telefoons. De actuatoren hebben meer vermogen nodig en hiervoor wordt een labvoeding gebruikt

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 het belangrijkste omdat het project gaat over het scheiden van de aandrijving van de frees en locatie bepaling van de snijkop. Verder doen de kosten er toe, maximaal 60 euro per encoder. Ook is er belang bij dat de huidige locatie opvragen snel kan aangezien een freesmachine 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 pulses gegeven worden in dezelfde rotatie.

Microcontroller

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 snijkop van de machine moet over de X, Y en Z assen kunnen bewegen.	Als opdrachtgever wil ik dat de machine zich over de X, Y en Z assen kan bewegen.	Als de kop zich over de X, Y en Z assen kan bewegen.	Funct.
De positie van de snijkop moet bepaald worden doormiddel van sensoren.	Als opdrachtgever wil ik dat de machine de positie van de kop bepaald doormiddel van sensoren op de nauwkeurigheid te garanderen.	Als de locatie van de snijkop bepaald wordt door een sensor.	Funct.
Er kan g-code uitgevoerd worden door de freesmachine.	Als opdrachtgever wil ik een g-code bestand laten uitvoeren door de freesmachine.	Als de machine g-code kan uitvoeren.	Funct.
De code van het prototype moet modulair 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.

2.3 Closed loop

In het begin van de stage is er een oplossing gevonden die te gebruiken is zonder de code van GRBL aan te passen. Dit is in de vorm van closed loop encoders. Deze encoders zitten vast aan de achterkant van de motoren en compenseren meteen de fouten als deze gemaakt worden door de motoren. Dit vindt Sens2Sea geen oplossing omdat zij dan afhankelijk zijn van de encoder die de fabrikant levert. Het systeem dat Sens2Sea wilt is

waar? ;)

een systeem dat aan te passen is indien meer nauwkeurigheid nodig is. Hiervoor moet de aansturing en locatie bepaling gescheiden worden.

2.3.1 De kop van de machine moet over drie bewegingsassen bewegen.

De kop van de machine moet over de x, y, z assen kunnen bewegen. (Functioneel) (MUST)
Acceptatie: De requirement is voltooid als de kop over de drie assen heen en weer kan bewegen.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik dat de machine zich kan verplaatsen over de x, y en z bewegingsassen.

2.3.2 De kop kan materiaal verwijderen

De kop van de machine kan materiaal verwijderen. (Functioneel) (MUST)

Acceptatie: De requirement is voltooid als de kop materiaal kan verwijderen van het model.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik dat de machine materiaal kan verwijderen van het model.

2.3.3 De positie van de kop wordt bepaald door sensoren.

De positie van de kop van de machine moet bepaald kunnen worden doormiddel van sensoren. (Functioneel) (MUST)

Acceptatie: De requirement is voltooid als de locatie van de kop van de machine bepaald wordt door een sensor.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik dat de machine de positie van de kop bepaald doormiddel van een sensor om de nauwkeurigheid te garanderen.

2.3.4 Er kan g-code worden uitgevoerd met de machine.

De machine kan een g-code bestand uitvoeren dat deze gestreamd krijgt via een seriële verbinding. (Functioneel) (MUST)

Acceptatie: De requirement is voltooid als er een g-code bestand uitgelezen en uitgevoerd kan worden door de machine via een seriële verbinding.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik een g-code bestand kunnen laten uitvoeren door de machine.

2.3.5 De code moet modulair zijn

De code van het prototype moet modulair zijn waardoor er gemakkelijk delen vervangen kunnen worden. Bijvoorbeeld andere soorten actuatoren en sensoren toevoegen / vervangen. (Functioneel) (MUST)

Acceptatie: De requirement is voltooid als de code van de machine modulair is en niet

afhangt van andere stukken code.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik gemakkelijk onderdelen kunnen vervangen en toevoegen aan de machine, zonder het hele systeem om te gooien.

2.3.6 De kop van de machine moet over twee rotatie assen bewegen

De kop van de machine moet over twee roatie assen kunnen bewegen (Functioneel)
(SHOULD)

Acceptatie: De requirement is voltooid als de kop van de machine over twee rotatie assen kan bewegen.

Userstory: Als opdrachtgever wil ik graag dat de machine over twee rotatie assen kan draaien om een mooie parabool te maken.

3 Ontwerpen

3.1 Tekeningen en diagrammen

4 Test Rapport

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

Work in progress

4.1 De kop van de machine moet over drie assen bewegen

4.1.1 Acceptatiecriteria:

Deze test is voltooid als de kop van de machine kan bewegen over de 3 bewegingsassen (x, y, z).

4.1.2 Testopstelling

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

1. Testopstelling.
2. Handleiding

work in progress

4.1.3 Instructies

1. Volg de handleiding om de machine aan te zetten.
2. Upload een simpel stuk gcode om de machine over alle 3 assen te laten bewegen.

4.1.4 Verwacht resultaat

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

4.1.5 Waarnemingen

peter.vanderklucht@pkmarine.nl

waarnemingen
invullen

5 Aanbevelingen

aanbevelingen
toevoegen

6 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. Accessed: Jan. 6, 2026.
4. Wikipedia contributors, "Rotary encoder," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: 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. <https://www.dynapar.com/knowledge/encoder-basics/encoder-technology/magnetic-encoders>

7 Bijlagen

7.1 Encoder onderzoek

Voor de locatie van de snijkop 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 onderteverdeeld in verschillende soorten: Incrementeel of absoluut. Ook zijn er verschillende meet methodes: Magnetisch of optisch. Bij de keuze moet ook rekening gehouden worden met dat de prijs van een sensor onder de 60 euro moet blijven.

7.1.1 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, word 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.

A	B
0	0
1	0
1	1
0	1

Figure 2: Encoder sequentie

Optisch

Encoders zijn er in verschillende soorten. Deze soorten

7.2 Encoders

Encoders zijn er in verschillende soorten. Hieronder worden de encoders genoemd. Na het voorleggen aan de opdrachtgever heeft deze de incrementele encoder gekozen omdat deze meer vrijheid biedt dan de andere encoders.

7.2.1 Incrementele encoder

Incrementele Encoders zijn encoders die pulsen geven als de as is gedraaid. De resolutie van deze encoders wordt afgedrukt in PPR (pulsen per rotatie). Door de pulsen te tellen die uit de output(s) komen kun je de locatie en eventueel snelheid bepalen. Als deze encoders meerdere uitgangen heeft, wordt de resolutie van deze encoders beter. Als een encoder 2 uitgangen heeft kan de encoder in 4x resolutie werken. Dit is omdat op de schijf van deze encoders fases in verschuiving staan. Hierdoor kan de richting ook bepaald worden door de sequentie te volgen die de encoder loopt zoals te zien is in figure 1. Door figure 1

Interrupts Omdat deze encoders signalen versturen wanneer er een rotatie plaatsvindt, is de locatie niet op te vragen. Hiervoor kunnen er interrupts gebruikt worden. Deze gaan af wanneer er een signaal plaatsvindt. Een interrupt is een signaal dat de computer vertelt dat die moet stoppen waar die mee bezig is en een specifiek stuk code moet uitvoeren. Omdat deze encoders per rotatie een x aantal pulsen afgeeft is het belangrijk om te weten of een arduino zoveel interrupts kan verwerken. Hiervoor is een test gedaan. De code is te vinden bij de bijlagen. Voor deze test is gekeken hoeveel interrupts de arduino per code bijlagen seconde registreert om een beeld te geven of deze optie realistisch is.

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.

$5.432/635280 \approx 116951$ interrupts per seconde.

7.2.2 Absolute encoder

Een absolute encoder geeft voor elke hoek van de as een unieke code. Deze encoders bepalen door de as op een bepaalde manier te encoden tussen welke hoeken de as zich bevindt. Deze encoders slaan de rotatie op in een register en deze is uit te lezen door een microcontroller via een protocol zoals SPI. Het aantal bits bepaalt de nauwkeurigheid van deze encoder. Er zijn ook absolute encoders die naast de hoek, ook het aantal revoluties bijhouden.

7.2.3 Lineaire encoder

Lineaire encoders bepalen op eenzelfde manier als incrementele encoders de locatie. Deze sensoren zijn minder flexibel dan andere encoders omdat deze een vaste lengte hebben voor een vooraf gedefinieerde afstand.

7.3 Requirements

Hieronder zijn de requirement te vinden. Om deze op te stellen is moscow gebruikt. Moscow verdeelt de requirements op in Must, Should, Could en Won't. Hiernaast zijn de requirements functioneel en niet functioneel.

7.4 Bijlage test code

Bijlage toevoegen

8 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 herordend en analyse verbeterd
06-01-2026	Stakeholders verplaatst, spelling, onderzoek verplaatst/herschreven