

STAGEWERKPLAN

WIRELESS BIOREACTOR PROBE

J.H. Elbers
BSc Mechatronica
23 februari 2022

Bedrijfsmentor
A. Kaljouw

Getinge Applikon, Delft

Stagebegeleider
X. van Rijnsoever

De Haagse Hogeschool, Delft

Voorwoord

Het document voor u is het werkplan dat is opgesteld naar aanleiding van de afstudeerstage bij Gesting Applikon. Het werkplan wordt gebruikt als een hulpmiddel om de leer- en ontwerpdoelen te realiseren in het termijn dat gesteld is voor de stage.

Ik ben Joyke Elbers, in de periode van februari tot en met juli, werk ik binnen het bedrijf Gesting, gevestigd in Delft. In mijn vrije tijd ben ik graag technisch bezig, zo ben ik onder andere een systeem aan het ontwikkelen die de sporen van de oesterzwammen kan meten om te bepalen of ze klaar zijn om te eten.

De combinatie tussen de biologie en techniek sprak me aan en heeft geleid dat ik mijn afstuderen bij Gesting Applikon doe.

Joyke Elbers

Delft, 23 februari 2022

1 Achtergrond

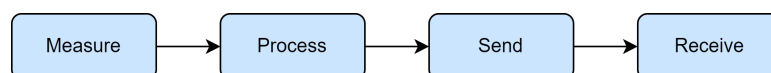
Gesting Applikon, gelegen in Delft, ontwikkelt en produceert bioreactorsystemen. Deze systemen worden gebruikt om op laboratorium- of productieschaal een cultuur van cellen of micro-organismen te kweken. Om de condities tijdens dit proces te regelen zijn veel sensoren en actuatoren nodig, met als gevolg dat een laboratorium bioreactor veelal uit een grote hoeveelheid kabels, slangen en stekkers bestaat. Om de gebruiksvriendelijkheid van de bioreactorsystemen te verhogen onderzoekt Applikon de mogelijkheid om draadloze systemen toe te passen.

Deze opdracht wordt vanuit Gesting Applikon begeleid door Astrid Kaljouw. Astrid is MSc. Life Science and Technology (Biotechnologie) en is bij Applikon Project Leader Product Development. Daarnaast zullen verschillende engineers van de productontwikkelingsafdeling beschikbaar zijn voor vragen en ondersteuning.

2 Projectresultaat

Het doel van de stageopdracht is om een draadloze sensor-probe te ontwikkelen die gebruikt kan worden in een proof-of-concept. Deze probes moeten in staat zijn om met reeds geselecteerde sensormodules dissolved oxygen (DO) te meten. Deze informatie moet draadloos verzonden worden en moet op een manier weer teruggekoppeld kunnen worden aan de regelmodule van de bioreactor. Dit systeem moet ook geïntegreerd worden in een testopstelling die duidelijk moet maken of de gewenste betrouwbaarheid van sensoren met kabels ook behaald kan worden door de draadloze probe.

2.1 Functies



Figuur 1: Functies van het systeem

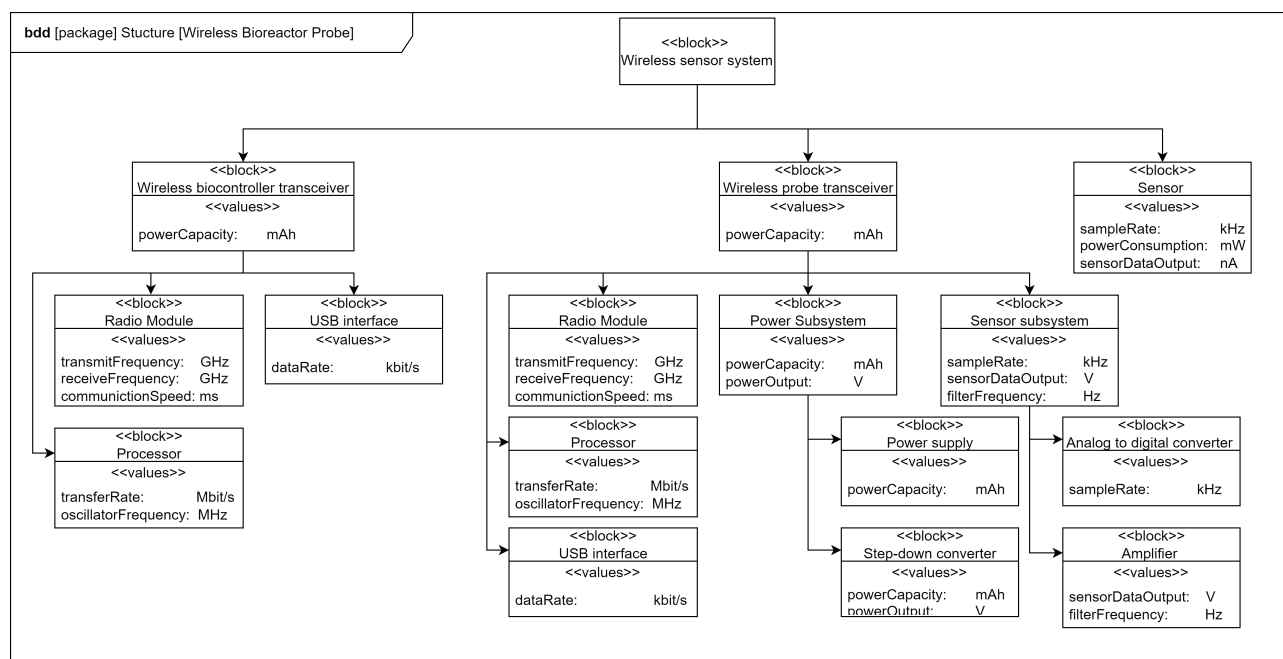
Het sensor systeem vervult vier functies; meten, verwerken, versturen en ontvangen. Aan de hand van een polarographic DO sensor wordt het DO level van de vloeistof bepaald. Er wordt een pakket opgesteld met alle waarden die de biocontroller moet ontvangen.

2.2 Systeemarchitectuur

Als leidraad voor het vaststellen van systeemvereisten dient er een overzicht gemaakt te worden die duidelijk maakt uit welke (deel)systemen dit project bestaat en wat de scope van de ontwikkeling is tijdens dit project. Ook dient er duidelijk gemaakt te worden met welke bestaande systemen dit project te maken heeft, en in welke capaciteit.

2.2.1 Systems Engineering

Aan de hand van Systems Engineering is er een overzicht gemaakt van het gewenste systeem. In figuur 2 is een Block Definition Diagram (BDD) van het gewenste systeem te zien.



Figuur 2: Block definition diagram voor het draadloze bioreactor sensoren

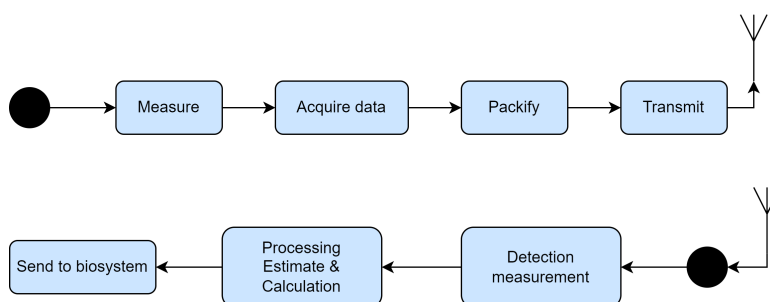
In het BDD is te zien dat het wireless sensor systeem bestaat uit drie subsystemen: de biocontroller transceiver, de probe transceiver en de DO sensor. De biocontroller transceiver zal worden aangesloten op de biocontroller zodat het systeem draadloos kan communiceren met de DO sensor via de probe transceiver module.

De biocontroller transceiver is een simpel systeem dat bestaat uit een draadloze module om met de andere probe te communiceren, een microcontroller om de data te verwerken en een USB interface om te communiceren met de biocontroller.

De module voor de probe bestaat uit drie subsystemen: een draadloze module, een sensor module en een power systeem. Via de draadloze module wordt het sensor signaal versterkt, digitaliseert en verzonden. Het power subsysteem verzorgt de probe en de module van stroom.

Het doel van de probe transceiver module is om de bestaande analog to digital systeem te verfijnen en uit te breiden met een draadloze module. Het wireless bioreactor sensor systeem wordt uitgerust met onder andere een processor om nodige sensor data te verwerken en de draadloze module aan te sturen.

De probe wordt voorzien van een batterij als voeding van het systeem. In de eerste versie wordt het systeem nog niet ontworpen om de batterijen te laden. Zodra de batterij leeg is zal het verwisseld moeten worden. Tijdens het onderzoek en testen zal het duidelijk worden hoelang het systeem kan werken op een accu. Naast de optie om het systeem te voeden met een batterij zal het ook mogelijk worden gemaakt om het systeem aan de hand van een labvoeding te voeden of USB te voeden. Hoe dit precies wordt gedaan moet nog uitgezocht worden.



Figuur 3: Flow diagram voor het draadloze bioreactor sensoren

Figuur 3 toont een flowchart van het verloop van een DO meting. De meetcyclus start door het uitlezen van de de DO sensor. De data die wordt verstuurd tussen de bioreator en biocontroller heeft een vast format, deze data pakketten worden verzonden door een transmitter.

Na ontvangst door de receiver wordt het gemeten DO level omgezet naar een data format dat de biocontroller kan begrijpen.

Data acquisition wordt gedaan in een aantal stappen die zijn weergegeven in figuur 4. Eerst zal het signaal worden versterkt en gefilterd voor bepaalde frequenties daarna wordt het doorgestuurd naar een analog to digital converter. Dit kan vervolgens worden uitgelezen en verwerkt via de microcontroller.



Figuur 4: Flow diagram voor het data acquisition van de bioreactor DO sensor

2.2.2 Programma van Eisen

Samen met de opdrachtgever, vertegenwoordigd door het engineeringsteam van Gefinge, zijn er eisen aan het systeem gesteld. Voor het pakket van eisen zal een apart document worden gemaakt waar de aanpassingen door de tijd heen ook worden vastgelegd. In tabel 1 zijn de eerste eisen van het project weergegeven.

Tabel 1: Programma van eisen.

nr.	omschrijving	opmerking
1	De sensorcomputer kan de DO sensor uitlezen met een sample rate van minimaal 1 Hz	
2	De sensor receiver op de biocontroller kan minimaal 2 sensoren ontvangen op één receiver	
3	De sensorcomputer kan draadloos communiceren met een biocontroller op een afstand van minimaal 10 m	
4	De sensorcomputer kan minimaal 28 dagen functioneren op accuvermogen	Accu afmetingen mogen niet te groot zijn (eis 6) 2de voeding voor langdurig testen
5	De sensorcomputer kan worden gevoed via een accu en een tweede voedingsbron	
6	Het sensorsysteem past op de 3L bioreactor	
7	Het systeem is voorzien van een status indicatie van de batterij	
8	Het systeem is van buitenaf uit/aan te schakelen	
9	De sensorcomputer verstuurt de data via het huidige protocol	
10	Het systeem maakt gebruik van de bestaande behuizing	
11	De DO kan met een nauwkeurigheid van $\pm 1\text{nA}$ over de range van 0-340nA worden gemeten	
12	De DO heeft een precisie van $\pm 0.5\text{nA}$	
13	De sensorcomputer verstuurt de sensor data met minimaal vier decimalen door naar de biocontroller	

Er zal een testplan worden opgesteld om te kunnen bepalen of er aan de eisen is voldaan.

3 Projectactiviteiten

Deze stageopdracht bestaat uit de volgende deelopdrachten:

- Het onderzoeken van geschikte draadloze communicatiemethoden.
- Het ontwikkelen van de benodigde elektronica om de sensoren draadloos aan de biocontroller te koppelen.
- De ontwikkeling van de benodigde software voor eventuele microcontrollers en processen op de biocontroller.
- De ontwikkeling van een behuizing die de elektronica koppelt aan de probe.
- Het ontwikkelen van een model om de prestaties van een draadloze sensor met een kabelsensor te vergelijken.

In het project zijn de activiteiten die ondernomen worden onderverdeeld in verschillende fases; Inlezen en onderzoek, Ontwerp, Realisatie en testen, Coderen en Concepttest.

Het project begint met een gedeelte onderzoek waar gekeken wordt naar de manieren van draadloze communicatie. Aan de hand van het onderzoek wordt een keuze gemaakt voor een draadloze module. Ook zal er grondig naar de bestaande bedrade module gekeken worden zodat dit geïntegreerd kan worden. Om een passende power supply te kunnen selecteren zal er gekeken worden naar het verbruik



van de bioreactor module en de manieren om het dit te minimaliseren.

Als alle subsystemen theoretisch zijn uitgewerkt en op papier zijn gezet kan het elektrisch circuit ontworpen worden. Zodra de schema's zijn goedgekeurd wordt de printplaat geroute waarna deze geproduceerd kan worden. Het elektrisch schema en de printplaat wordt ontworpen in het programma PADS.

In de tijd dat de printplaat wordt geproduceerd kan de behuizing voor de modules worden gemaakt, dit wordt gedaan in Inventor. De behuizing kan vervolgens worden ge-3D print.

Na de productie en assemblage van de printplaat moet er getest worden of het werkt naar behoren. Van elk subsysteem wordt de functionaliteit getest en zo nodig worden er aanpassingen gemaakt.

Naast de hardware is er ook software nodig voor het systeem. De firmware voor de module zal geschreven worden in C++. De benodigde software om een test model te maken waar een bedrade en draadloze sensoren wordt vergeleken zal geschreven worden in Python.

Zodra de hardware en software klaar zijn voor gebruik kan het totale systeem getest worden. Hieruit komt een conclusie voor de proof of concept.

In tabel 2 is een overzicht gemaakt van de verwachte activiteiten.

Tabel 2: Projectactiviteiten

Fase	activiteit	omschrijving
Inlezen en onderzoek	Draadloze module Smartcable	Wat zijn de mogelijkheden en wat past het beste bij dit project. Hoe zit de bestaande smartcable in elkaar en hoe werkt het. Wat zijn de aanbevelingen voor de huidige smartcable. Hoe kan de module low power worden gemaakt.
	Power supply Processor	Is een batterij geschikt voor de module en hoelang kan het mee. Wat voor processor is geschikt voor beide modules.
Ontwerp	Circuitry	Elektrisch ontwerp van de probe module. Elektrisch ontwerp van de biocontroller module.
	PCB routing	PCB ontwerp van probe module. PCB ontwerp van biocontroller module.
	Componenten selecteren	Alle componenten moeten worden uitgekozen en besteld van een microcontoroller tot en met de weerstanden.
	Behuizing ontwerp	Behuizing ontwerp probe module. Behuizing ontwerp biocontroller module.
Realisatie en testen	PCB productie	PCB produceren en assembleren.
	PCB test	PCB functionaliteitstest van componenten en subsystemen.
	Behuizing ontwikkelen	Behuizingen produceren en gebruik klaar maken.
Coderen	Firmware Bioreactor module	meting opvragen en dataverwerking. Encrypte van de data voor veilige draadloze communicatie. Data versturen en ontvangen.
	Firmware biocontroller module	Data ontvangen en sturen. Data verwerken en formatteren.
	Software Compare Model	Software voor een model voor het testen van de betrouwbaarheid van de draadloze sensor in vergelijking tot een bedrade sensor.
Concepttest	Testopstelling	Testopstelling voor de proof of concept realiseren.
	Testen	Het testen van de modules in de proof of concept opstelling en dit meerdere malen herhalen.

4 Projectgrenzen

De ontwerpvrijheid in deze opdracht ligt onder andere in de interface tussen de reeds gekozen sensoren en de nog te kiezen draadloze module. Hiervoor moet dus allereerst een ontwerp gemaakt worden wat de sensoren elektronisch aan een spanningsbron, microcontroller en draadloze module koppelt. Er zal in software een ontwerp gemaakt moeten worden waarmee sensordata in een pakket verstuurd kan worden, en hoe dit gedaan kan worden met meerder sensoren in een netwerk. Als laatste moet er ook nog een mechanisch ontwerp gemaakt worden voor de behuizing van de elektronica. De probe zelf mag hiervoor niet aangepast worden. Bij dit ontwerp moet rekening worden gehouden met de draadloze communicatie.

Het doorsturen van de sensordata naar de biocontroller valt nog wel onder de opdracht, maar wat de biocontroller met deze data doet valt erbuiten.

5 Tussenresultaten en kwaliteit

Aan het einde van elke fase, genoemd in de projectactiviteiten hoofdstuk 3, wordt er iets opgeleverd. Voor de eerste fase, Inlezen en onderzoek, is dit een document met alle bevindingen en een conclusie wat er gebruikt wordt voor het systeem. De ontwerp fase wordt afgerond met een de printplaat die besteld kan worden en een behuizing die kan worden geprint. Bij het afronden van de printplaat is er nog een tussen resultaat aanwezig, dit is de oplevering van het elektrisch schema. In de volgende fase wordt er een werkende printplaat opgeleverd met een bijpassende behuizing.

Na de hardware wordt de software geschreven voor de bioreactor en biocontroller module. Voordat er een werkende code wordt opgeleverd worden er tussenresultaten behaald. De tussenresultaten van de software zijn als volgt; meting starten en uitlezen, data formatteren, data draadloos versturen en uitlezen en data beveiliging/encryption(mocht er genoeg tijd zijn).

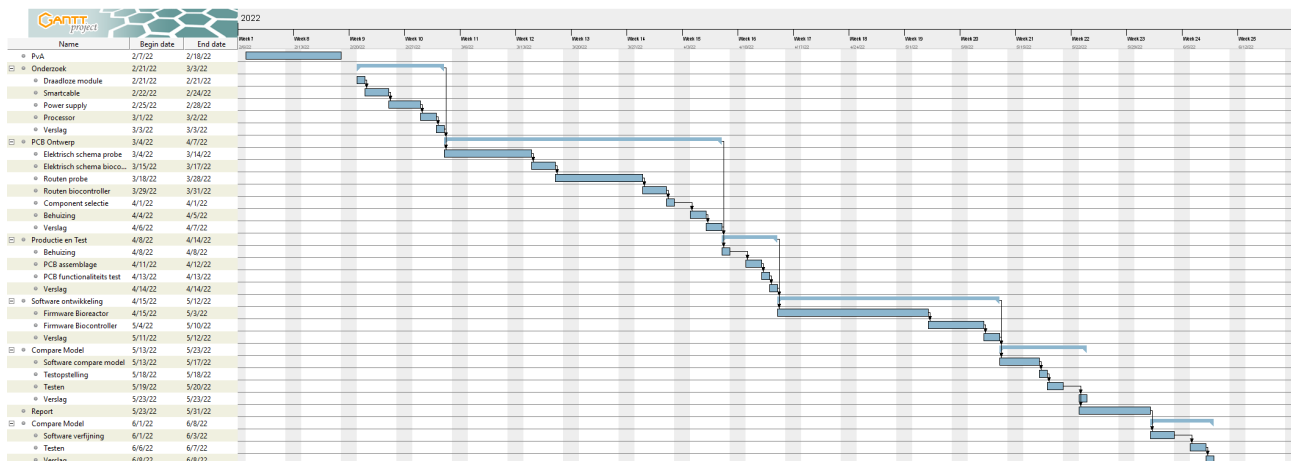
Naast de software voor de systemen moet er ook een test model worden geschreven waar de metingen van een bedrade en draadloze sensor worden vergeleken. Het eerste tussenresultaat van het model is het uitlezen en verwerken van de data. Hier moet bepaald worden waaraan de betrouwbaarheid van het systeem afhankelijk is en hoe je dit in kaart kan brengen. Het eind resultaat is een model waar uit te lezen is wat de sensoren versturen hoeveel pakketten er worden verstuurd en hoe veel fouten er in de verstuurd pakketten zitten.

Het project wordt afgerond met een conclusie of het systeem werkt en een model die aangeeft hoe betrouwbaar het draadloze sensor systeem is en aanbevelingen voor een vervolg product.

Om ervoor te zorgen dat de opgeleverde producten van goede kwaliteit zijn zullen ze goedgekeurd moeten worden door een collega. De elektronica wordt gecheckt en goedgekeurd door Arnold Meijer, electrical engineer van Getinge Applikon en de software wordt gedaan door Valentijn Polder, software engineer van Getinge Applikon.

6 Planning

De planning voor de opdracht bij Getinge Applikon is te zien in figuur 5, de planning is weergegeven in een Gantt Chart. Voor mijn opdracht houd ik me bezig met het ontwerpen, produceren en testen van het systeem. In het tijdschema is het project opgedeeld in fases en opdrachten met een geschatte looptijd. De vijf hoofdfases zijn: inlezen en onderzoek, Ontwerpen, Productie en test, software ontwikkeling en Compare Model. Elke fasen is opgedeeld in subtaken, het afronden van een fase zal worden gezien als een milestone. Voordat een milestone wordt afgerond zal het verslag worden bijgewerkt. De planning is onderhevig aan verandering en de Gantt Chart kan indien gewenst en nodig aangepast worden.



Figuur 5: Een Gantt-grafiek voor de stageperiode.