

Drijvende boerderijen balanceren

Het balanceren van drijvende boerderijen om onbalans en verstoringen in gewichtsverdeling te verminderen.



Afstudeerder: Jelle Willemen
Studentnummer: 21142173
Scriptie Bachelor Werktuigbouwkunde
Onderwijsinstelling: de Haagse Hogeschool

Docentbegeleider: Joep de Groot
Waarnemend docentbegeleider: Damon Golriz
Bedrijfsbegeleider: Sam Otte

Publicatie: Delft, 6 juni 2025
Afstudeerbedrijf: Floating Farm, Rotterdam

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstudeerstage bij Floating Farm Rotterdam, ter afronding van de bachelor werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool. De afstudeeropdracht gaat over de mogelijkheden die er zijn om drijvende boerderijen te balanceren. In de periode van februari tot juni 2025 ben ik bezig geweest met het uitvoeren van de opdracht en het schrijven van mijn scriptie.

Ik ben bij het bedrijf Floating Farm terecht gekomen doordat het werkveld van het bedrijf perfect aansluit op mijn interesse in de agrarische wereld. Daarnaast wordt bij het bedrijf gewerkt aan unieke innovaties van het hoogst denkbare niveau. In de opdracht heb ik ontwerpen kunnen maken voor balanceersystemen, iets wat ik enorm leuk vind om te doen. Daarnaast heb ik mijn vaardigheden in het analyseren van complexe problemen kunnen verbeteren.

Mijn twee collega's Sam Otte en Peter van Wingerden wil ik graag bedanken voor alle tijd die ze vrijgemaakt hebben voor mij en mijn opdracht en hun bereidheid om altijd mee te denken. Ook waardeer ik enorm de vrijheid die ik heb gekregen binnen het bedrijf en hun vertrouwen in mij. Daarnaast bedank ik graag mijn begeleiders Joep de Groot en Damon Golriz voor het begeleiden van mijn afstudeerstage. Mijn dank gaat ook uit naar eenieder die mij geholpen heeft als kritische lezer van mijn scriptie of spartner.

Tot slot wil ik al mijn collega's en de vrijwilligers bij Floating Farm enorm bedanken voor de fijne sfeer binnen het bedrijf en het enthousiasme waarmee we elke dag een stukje beter worden met elkaar.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Jelle Willemen

Delft, 6 juni 2025

Samenvatting

De drijvende boerderij van Floating Farm ligt scheef in het water, wat voor een aantal verstoringen van processen leidt. Dit wordt veroorzaakt door een onbalans in de gewichtsverdeling en een continue verstoring van de balans. Als oplossing hiervoor moeten er ontwerpaanpassingen komen en moet er een balanceersysteem ontworpen worden. Hierbij wordt zowel naar de bestaande als toekomstige boerderijen gekeken.

Het doel van deze opdracht is een oplossing voor de problemen die zich nu voordoen door de scheefligging en een ontwerp voor een systeem om de boerderij in balans te houden. Hierbij is de volgende hoofdvraag opgesteld: 'Wat zijn goede methodes om problemen rondom statische en dynamische onbalans in de gewichtsverdeling van de drijvende boerderij op te lossen?'

Om tot deze ontwerpverbeteringen te komen is een vijffasen ontwerpproces toegepast, waarvan de eerste drie fasen oriënteren, analyseren en ontwerpen zijn doorlopen. Een rekenmodel is opgesteld en metingen zijn verricht om te analyseren wat de invloed van alle systemen is op de scheefligging. Uit het daaropvolgende ontwerpproces is gekomen dat een gedeeltelijke herindeling van de boerderij de gewichtsbalans gedeeltelijk kan herstellen. Echter is de realisatie eenvoudiger en een kleinere investering, om twee kleine ontwerpaanpassingen door te voeren om de problemen op de huidige boerderij op te lossen. Voor het actief balanceren van toekomstige boerderijen kan het beste gebruik gemaakt worden van waterballasttanks die vol en leeggepompt kunnen worden als contragewichten.

De aanbeveling is om de herindeling van de boerderij te realiseren en daarmee de gewichtsverdeling gedeeltelijk te herstellen. Hierbij moeten ook de ontwerpaanpassingen gerealiseerd worden aan het bewateringssysteem van de vertical farm en wordt het hekwerk verplaatst in de stal. Bij het ontwerpen van toekomstige boerderijen wordt aanbevolen om te berekenen wat de balans is van de gewichtsverdeling en in welke mate dit varieert. Bij een te grote variatie in de balans, wordt het dynamische balanceersysteem verder ontworpen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Symbolenlijst	6
Begrippenlijst	6
1. Inleiding	7
2. Bedrijfsbeschrijving - Floating Farm Rotterdam	8
3. Doelstellingen opleidings- en bedrijfsoptiek.....	9
3.1 Opleidingsoptiek	9
3.2 Bedrijfsoptiek.....	10
4. Methode van aanpak.....	11
4.1 Ontwerpmethode	11
4.2 Projectplanning.....	12
Fase 1 – Oriëntatie.....	13
5. Opdrachtinleiding.....	13
5.1 Context.....	13
5.1.1 Context Floating Farm Rotterdam	13
5.1.2 Statische en dynamische balans	15
5.2 Opdrachtoomschrijving	15
5.2.1 Deliverables.....	16
5.2.2 Kadering	17
5.3 Probleemanalyse	18
5.3.1 Bewatering vertical farm.....	18
5.3.2 Mestophoping.....	19
5.3.3 Ontwerpen van balanceersysteem.....	20
5.4 Doelstellingen opdracht	20
Fase 2 – Analyse	21
6. Probleemanalyse.....	21
6.1 Functieboom	21
6.2 Functieblokschema.....	22
6.3 Hoofd- en deelvragen	22
6.4 Stakeholder analyse	23
6.4.1 Doelgroep beschrijving.....	23
6.4.2 Overzicht klantwensen	24
6.5 Programma van eisen	25
6.5.1 Ontwerpcriteria	25

6.5.2 Succescriteria	25
6.6 Analyse Floating Farm Rotterdam	26
6.6.1 Analyse huidige gewichtsverdeling.....	26
6.6.2 Meting variatie in hellingshoek.....	30
6.6.3 Complexiteit bij validatie van analyse	32
Fase 3 – Ontwerp.....	36
7. Conceptontwerpen.....	36
7.1 Ontwerpvisie.....	36
7.2 Ontwerpverbeteringen Floating Farm Rotterdam	37
7.2.1 Concepten	37
7.2.2 Conceptkeuze	41
7.3 Concepten balanceersysteem	46
7.3.1 Concepten	46
7.3.2 Conceptkeuze	50
7.4 Verantwoording conceptkeuze.....	52
7.5 Ontwerpconclusie.....	52
8. Conclusie.....	54
9. Aanbevelingen.....	55
Literatuurlijst.....	56
Bijlagen.....	57
Bijlage I: Rekenmodel analyse gewichtsverdeling	57
Bijlage II: Notulen.....	57
Template notulen	57
Notulen Bartels & Vedder.....	58
Notulen Damen Shipyards	60
Bijlage III: Programma van eisen	62
Ontwerpcriteria	62
Succescriteria	65
Bijlage IV: Hellingsproef voor schepen	67
Bijlage V: Competentieverantwoording	68

Symbolenlijst

In Tabel 1 staan alle gebruikte symbolen. Per symbool staat de betekenis en eenheid aangegeven.

Tabel 1: Symbolenlijst

Symbol	Betekenis	Eenheid
dh	Verschil in hoogte	m
F	Kracht	N
l	Lente	m
M	Moment	Nm
s	Arm	m
θ	Hellingshoek	graden

Begrippenlijst

In Tabel 2 worden begrippen gedefinieerd die niet algemeen bekend zijn bij de lezer. Bij ieder begrip staat aangegeven waar het begrip uitgelegd wordt, met daarbij een beknopte definitie van het begrip.

Tabel 2: Begrippenlijst

Begrip	Waar uitgelegd?	Definitie
Barge	3.1.1 Context Floating Farm Rotterdam	Een lang smal schip dat gebruikt wordt voor opslag en goederentransport op het water, vaak zonder eigen aandrijving om te verplaatsen.
Diepgang	4.6.3 Complexiteit drijvende objecten	De diepte waarmee een drijvend object onderwater ligt.
IBC	-	Intermediate Bulk Container; een standaard voor de afmetingen van een opslagcontainer
Metacentrum	4.6.3 Complexiteit drijvende objecten	Het snijpunt tussen de verticale symmetrische as van een drijvend object en de werklijn van de opwaartse kracht.
Proof of concept	-	Een eenvoudige test waarin snel achterhaald kan worden of een concept praktisch haalbaar is.
Tafel	3.3.1 Bewatering vertical farm	Grote bakken met daarin de planten die gekweekt worden in de Vertical farm
Vertical farm	3.1.1 Context Floating Farm Rotterdam	Het meerlaagse verticale kweekstelsel waar gewassen worden gekweekt op de drijvende boerderij

1. Inleiding

Als pionier in het produceren van voedsel op het water, heeft Floating Farm de eerste en enige drijvende boerderij ter wereld gebouwd. Wie als eerste aan een nieuwe innovatie begint, zal gaandeweg tegen veel uitdaging aanlopen. Door op een drijvend platform voedsel te gaan produceren, spelen effecten zoals stabiliteit, gewichtsverdeling en drijfvermogen een rol. Vanuit deze nieuwe aspecten in het ontwerpen van een boerderij, is het ontwerpprobleem ontstaan voor deze afstudeeropdracht. De probleemstelling is dat ontwerpaanpassingen nodig zijn om de balans van de drijvende boerderij te verbeteren. De doelstelling bij deze opdracht is een advies uitbrengen hoe de problemen, veroorzaakt door de onbalans in gewichtsverdeling, verholpen kunnen worden.

Voor drijvende objecten bestaan al verschillende balanceersystemen. Vrachtschepen maken bijvoorbeeld gebruik van ballasttanks met water om het schip in balans te houden bij verschillende ladingen. Maar ook drijvende kantoren of woonboten worden gebalanceerd met behulp van luchtkussens. Het verschil tussen deze toepassingen is dat een vrachtschip een dynamisch systeem heeft voor de wisselende balans, maar een woonboot heeft een statisch systeem omdat daar de gewichtsverdeling constant is. De drijvende boerderij zit hier als systeem tussen in, waardoor hier nog geen balanceersysteem voor is. Er is een groot belang bij deze ontwerpbeurt, omdat op korte tijd nieuwe drijvende boerderijen gebouwd gaan worden. Er moet voorkomen worden dat dezelfde problemen daarop ook ontstaan.

De hoofdvraag voor de ontwerpbeurt: 'Wat zijn goede methodes om problemen rondom statische en dynamische onbalans in de gewichtsverdeling van de drijvende boerderij op te lossen?' In een ontwerpproces van drie fasen zal gewerkt worden naar concepten die de gewichtsbalans van de boerderij moeten verbeteren.

Voorafgaand aan dit ontwerpproces is in dit rapport een bedrijfsbeschrijving gegeven en zijn de doelstellingen vanuit de opleiding en het bedrijf beschreven. Daaropvolgend wordt de methode van aanpak toegelicht. De fasen van het ontwerpproces zijn als volgt ingedeeld:

- De oriëntatiefase licht toe wat de context is waarin de opdracht wordt uitgevoerd en welke problemen worden veroorzaakt door de scheefligging.
- De analysefase beschrijft wat onderliggende oorzaken zijn van de onbalans. Hierbij is een rekenmodel opgesteld om inzicht te krijgen in de gewichtsverdeling van de huidige boerderij.
- In de ontwerpbeurt worden de ontwerpen gemaakt als oplossing voor de onbalans in gewichtsverdeling en voor de huidige problemen.

Uit de ontwerpbeurt wordt geconcludeerd wat het antwoord is op de hoofdvraag. In de aanbeveling wordt toegelicht wat vervolgstappen zijn en hoe het ontwerpproces vervolgd kan worden. De literatuurlijst van de gebruikte bronnen en de verwijzingen zullen volgens de APA-richtlijn gedaan worden.

2. Bedrijfsbeschrijving - Floating Farm Rotterdam

Floating Farm, het bedrijf waar de afstudeerstage wordt uitgevoerd, is een klein bedrijf dat een drijvende boerderij ontwikkelt. In Rotterdam is de eerste drijvende boerderij ter wereld gerealiseerd. Kernwaarden die verwerkt zijn in de boerderij zijn dierenwelzijn, circulariteit, duurzaamheid en innovatie. Het doel van de drijvende boerderij is gezond voedsel produceren in steden, dicht bij de consument. Binnen het bedrijf wordt dit 'Transformation' genoemd. (Floating Farm, 2024)

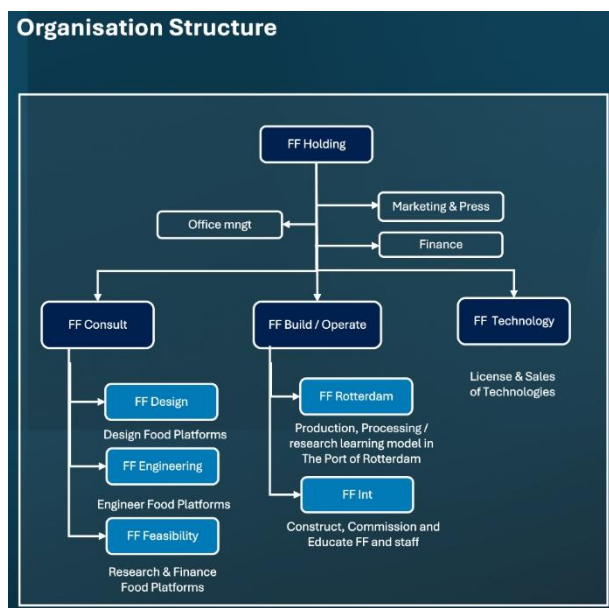


Figuur 1: De drijvende boerderij

De Floating Farm is gelegen in de Merwehaven in Rotterdam. Op deze locatie ligt de eerste drijvende boerderij, maar is ook het kantoor, de ontvangstruimten voor groepen bezoekers en de boerderij winkel, zoals in Figuur 1 te zien is. Op het terrein wordt ook gewerkt aan de innovaties die nu gedaan worden aan de drijvende boerderij. Dit is de enige locatie van Floating Farm, dus ook de stagevestiging.

Het team van Floating Farm dat werkt aan de ontwikkeling van de boerderij bestaat uit negen werknemers. Op de locatie in Rotterdam werkt dit team aan de innovaties van de drijvende boerderij. In Figuur 2 hiernaast staat het organogram van de hele holding Floating Farm. De afstudeeropdracht wordt uitgevoerd binnen de afdeling Floating Farm (FF) Technology.

Het team van werknemers bestaat uit een aantal zeer verschillende disciplines. Hierin zijn twee categorieën te onderscheiden. Een aantal werknemers houdt zich bezig met het draaiende houden van de boerderij, zoals onderhoud, de zuivel- en kaasproductie, de winkel, de rondleidingen en het verzorgen van de koeien. Deze werknemers worden aangestuurd door de CEO. Daarnaast zijn er werknemers die zich bezighouden met de innovaties. Voorbeelden hierbij zijn het testen van nieuwe installaties, het verbeteren van de huidige installaties en het ontwerpen van een tweede prototype van de boerderij. De werknemers zijn niet gemakkelijk onder te verdelen in deze twee categorieën, omdat er voortdurend overlap is in de werkzaamheden.



Figuur 2: Organogram Floating Farm

3. Doelstellingen opleidings- en bedrijfsoptiek

Bij de afstudeeropdracht hebben verschillende partijen een doelstelling. De belanghebbende partijen bij de afstudeeropdracht zijn:

- De afstuderende student;
- De Haagse Hogeschool;
- Floating Farm.

Deze partijen zijn te bundelen tot de twee categorieën opleiding en bedrijf. Voor beide categorieën zijn doelstellingen geformuleerd.

3.1 Opleidingsoptiek

De doelstellingen bij de afstudeeropdracht vanuit de opleiding zijn hieronder opgesomd. De opleidingsdoelstellingen sluiten aan op de competenties vanuit de opleiding die voorkomen uit het Competentieprofiel Bachelor of Engineering. Voor elke competentie is het beginniveau aangegeven en wat per competentie gedaan wordt om op het beoogde eindniveau te komen.

- **Professionaliseren**
De verplichte competentie professionaliseren gaat behouden worden op het huidige niveau drie. Dit gaat gedaan worden door de afstudeerstage in dezelfde soort omstandigheden uit te voeren als de eerdere stage. Een verschil met de vorige stage is dat de opdracht en informatie nu nog meer zelf gestructureerd moet worden. Ook gaat voor een aantal taken samengewerkt worden met partnerbedrijven, wat ook niet eerder gedaan is in de vorige stage.
- **Analyseren**
De competentie analyseren gaat veel toegepast worden om een overzicht te krijgen van de mogelijkheden die er zijn voor het balanceer probleem. Ook gaat deze competentie veel toegepast worden bij het analyseren van de ontwerpisen. Het competentieniveau wordt behouden op niveau drie.
- **Ontwerpen**
Bij het ontwerpen van het balanceersysteem gaat aan deze competentie gewerkt worden. De toegepaste ontwerpmethodiek bestaat uit de vijf fasen oriëntatie, analyse, ontwerp, detaillering en realisatie volgens het boek 'Ontwerpen technische innovaties' (Berg et al, 2017). In de afstudeeropdracht worden de fases oriëntatie, analyse en ontwerp doorlopen. Het competentieniveau wordt behouden op niveau drie.
- **Adviseren**
Op basis van de resultaten van de tests met sensoren en de proof of concepts wordt een advies gegeven voor een stabilisatie systeem. Hierin wordt deze competentie toegepast. Het competentieniveau voor adviseren wordt behouden op niveau twee, maar verbetert op een aantal punten die passen bij niveau drie. De aard van de taak en context is complex, multidisciplinair en ongestructureerd. De mate van zelfstandigheid is hoog, maar in het opstellen van het advies zitten weinig onbekende vernieuwende componenten.

Het doel van de afstuderende student is om met bovenstaande competentie ontwikkelingen te voldoen aan het vereiste afstudeerniveau. Daarnaast is het doel van de afstudeerder om zich verder te ontwikkelen in de competenties. Ervaring opdoen in het bedrijfsleven en kennisverbreding zijn hier onderdelen van.

3.2 Bedrijfsoptiek

Voor Floating Farm is het doel bij afstudeeropdrachten om diverse innovaties en uitdaging verder uit te werken. Het einddoel van het bedrijf bij deze ontwerpopdracht is een oplossing om de boerderij in balans te houden en een oplossing voor de problemen die zich nu voordoen door de scheefligging. De afstudeeropdracht is erop gericht om een begin te maken aan deze ontwerpopdracht. Het realiseren van het gehele ontwerp is niet haalbaar binnen de beperkte tijd die er is voor de afstudeerstage. Dit komt met name doordat de analyse die voorgaand aan het ontwerpproces gedaan moet worden veel van de beschikbare tijd vraagt. De doelstellingen bij de afstudeeropdracht vanuit het bedrijf zijn hieronder opgesomd:

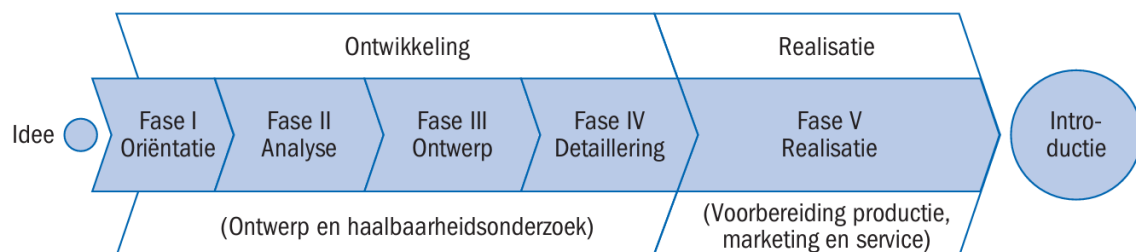
- De afstudeerder maakt een analyse van de huidige situatie van de scheefligging van de drijvende boerderij en kijkt daarbij naar de oorzaken;
- De afstudeerder stelt ontwerpverbeteringen voor om de problemen te verminderen die veroorzaakt worden door de scheefligging;
- De afstudeerder geeft op basis van een analyse een advies in welke situaties een balanceersysteem nodig is;
- De afstudeerder maakt een eerste ontwerp voor een systeem om drijvende boerderijen te balanceren;
- De afstudeerder draagt bij aan een aantal andere technische projecten die uitgevoerd worden binnen het bedrijf. Hierbij wordt wel scherp in de gaten gehouden dat dit niet ten koste gaat van de afstudeeropdracht.

4. Methode van aanpak

In de 'Methode van aanpak' zal worden beschreven wat de aanpak en methode is van de afstudeeropdracht. De keuze voor de ontwerpmethodologie en de indeling van de ontwerpfasen zal worden toegelicht. Hierbij hoort ook de projectplanning.

4.1 Ontwerpmethodologie

De indeling van de afstudeeropdracht bestaat uit een vijf fasen ontwerpmethodologie, die afkomstig is uit het collegeboek 'Ontwerpen van technische innovaties'. De vijf fasen waar deze ontwerpmethodologie uit bestaat zijn oriëntatie, analyse, ontwerp, detailleren en realisatie. Echter worden in de afstudeeropdracht niet alle vijf fasen doorlopen, omdat dit niet past binnen de kaders van de opdracht die in hoofdstuk 5 paragraaf 2.2 'Kadering' worden beschreven. De fasen die wel doorlopen worden zijn oriëntatie, analyse en ontwerp. In Figuur 3 staat een schematische weergave van de ontwerpmethodologie.



Figuur 3: Toegepaste ontwerpmethodologie

Fase 1 – Oriëntatie

Tijdens de oriëntatie wordt de opdracht vormgegeven en wordt bepaald wat de belangen zijn van alle betrokken partijen bij het project. Allereerst wordt gekeken naar de context waarbinnen de opdracht wordt uitgevoerd. Voor dit project betekent dit dat omschreven wordt wat de Floating Farm inhoudt, om een beter begrip te vormen over de context van het bedrijf. Ook wordt in dit stadium een analyse van de belangen van Floating Farm uitgevoerd. Dit is samengevat in de deliverables en de kadering, waardoor een concreet overzicht is wat de opdracht bevat. De probleemanalyse zorgt voor een beter begrip in de achtergrond van het probleem waaruit de opdracht is voortgekomen. Ook wordt in deze fase gekeken naar het doel bij het uitvoeren van het project.

Fase 2 - Analyse

In de fase probleemanalyse wordt nog dieper ingegaan op de onderliggende oorzaken van het probleem. Hiervoor wordt als eerste onderzocht wat de functies zouden zijn van een conceptoplossingen. Om structuur aan te brengen in de benodigde analyses wordt een hoofdvraag met dekkende deelvragen geformuleerd, welke in latere paragrafen zullen worden beantwoord. Het in kaart brengen van doelgroepen en de bijbehorende klantwensen wordt gedaan in een stakeholdersanalyse. Hierin worden de doelgroepen beschreven en voor alle klantwensen aangegeven tot welke doelgroep ze behoren.

Tijdens het analyseren van het ontwerpprobleem vormen er eisen en wensen waar de concepten aan moeten voldoen. Deze eisen en wensen worden gebundeld in het programma van eisen. In het programma van eisen staan harde eisen waar concepten aan moeten voldoen, de ontwerpcriteria. Ook de succescriteria worden hierin opgesteld zodat de verschillende concepten getoetst kunnen worden op de werking.

Verder bestaat de probleemanalyse uit een technische analyse van de oorzaak van de scheefligging van de boerderij. Voor deze technische analyse wordt in kaart gebracht wat de gewichtsverdeling is op de gehele boerderij. Dit wordt verwerkt in een rekenmodel om inzichtelijk te maken wat de grootste verstoringen zijn in de gewichtsverdeling. Vervolgens worden metingen uitgevoerd om vast te leggen wat de schommelingen zijn en de scheefligging is van de boerderij. Tot slot wordt de validiteit van de analyse onderzocht aan de hand van een aantal theoretische principes over drijvende objecten.

Fase 3 - Ontwerp

De fase ontwerpen bestaat uit het vormen van concepten die de beschreven problemen moeten verhelpen. In de ontwerpen wordt een duidelijk verschil gemaakt in concepten die toegepast kunnen worden op de bestaande boerderij in Rotterdam en ontwerpverbeteringen die gedaan moeten worden bij het herontwerpen van toekomstige boerderijen. Dit verschil is gemaakt omdat grondige aanpassingen aan de boerderij in Rotterdam niet mogelijk zijn wegens praktische haalbaarheid. Beide ontwerpprocessen worden los van elkaar beschreven maar hebben dezelfde structuur. Ten eerste worden conceptverbeteringen voorgesteld, die voortkomen uit analyses binnen het bedrijf voor ontwerp mogelijkheden en gesprekken met gespecialiseerde partner bedrijven zoals scheepsbouwers en ingenieursbureaus. Vervolgens worden de concepten onderling vergeleken en wordt gekeken welke combinatie van concepten de huidige problemen oplossen. Er wordt ook gekeken naar hoe voorkomen wordt dat in de toekomst nieuwe problemen ontstaan op de huidige of toekomstige boerderijen.

Op basis van de keuzes die gemaakt worden in de concepten en ontwerpverbeteringen wordt een advies gegeven over het vervolg van dit project. Hierin wordt geadviseerd wat aan acties ondernomen moeten worden. Dit vormt de conclusie van het afstudeerproject.

4.2 Projectplanning

Om de bovenstaande methode uit te kunnen voeren binnen de beschikbare afstudeertijd is voorafgaand aan het project een planning gemaakt. De planning bestaat uit een grove indeling van de ontwerpfasen over de beschikbare weken. Ook is een concretere planning gemaakt voor de eerste fase die uitgevoerd wordt, om de fase binnen de gestelde tijd te voltooien. Gedurende de afstudeerperiode kunnen de deliverables en kadering van de opdracht een aantal keer aangescherpt of aangepast worden. Dit leidt ertoe dat ook de planning aangepast dient te worden. Het doel hierbij zal iedere keer wel zijn om de gestelde periode per fase te behouden, om grip te houden op het verloop van de projectperiode.

Fase 1 – Oriëntatie

5. Opdrachtinleiding

De oriëntatiefase van de ontwerpmethodode geeft achtergrondinformatie en de onderliggende problemen van de opdracht. In de eerste paragraaf zal context worden gegeven over de drijvende boerderij. Vervolgens wordt de opdrachtoomschrijving gegeven met de bijbehorende deliverables en kadering. In de derde paragraaf wordt een probleemanalyse uitgevoerd en wordt de relatie tussen het probleem en de opdracht gegeven. Tot slot worden de doelstellingen van de ontwerpopdracht uitgewerkt.

5.1 Context

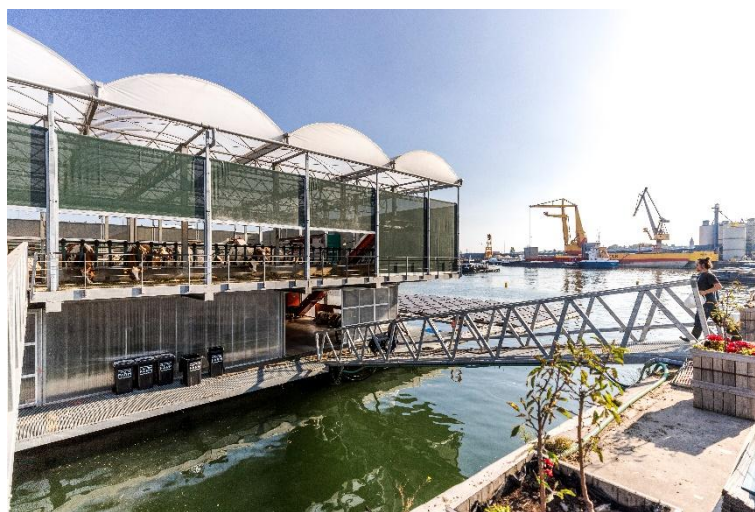
Deze paragraaf geeft context bij de afstudeeropdracht. De indeling en processen op de bestaande boerderij worden beschreven. Daarnaast wordt uitgelegd wat het verschil is tussen statisch en dynamisch balanceren, een belangrijk verschil in de afstudeeropdracht.

5.1.1 Context Floating Farm Rotterdam

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de unieke boerderij van Floating Farm. Deze paragraaf is een aanvulling op hoofdstuk 2 'Bedrijfsbeschrijving – Floating Farm', waarin wordt ingegaan op het bedrijf. Aan de hand van afbeeldingen zal een uitleg worden gegeven van de boerderij en zullen de systemen en onderdelen die van belang zijn voor de afstudeeropdracht verder worden toegelicht.

De context bij de drijvende boerderij die gegeven wordt in deze paragraaf, is specifiek voor de boerderij in Rotterdam. Boerderijen die in de toekomst ontworpen en gerealiseerd gaan worden krijgen een andere indeling, op basis van het type voedsel dat op verbouwd gaat worden. De opbouw, indeling en de processen van toekomstige boerderijen zal dus anders zijn.

De drijvende boerderij in Rotterdam is een gebouw op het water waar op een duurzame en circulaire manier voedsel geproduceerd wordt, dicht bij de consument. In de stal is ruimte voor dertig koeien, waarvan dagelijks de melk wordt verwerkt tot zuivel en kaas. Daarnaast worden er



Figuur 4: De drijvende boerderij van Floating Farm in Rotterdam

gewassen verbouwd zoals kruiden en groenten, dit gebeurt in een verticaal kweekstelsel wat de vertical farm genoemd wordt. In Figuur 4 staat een afbeelding van de drijvende boerderij.

Het gebouw bestaat uit drie verdiepingen. De begane grond, ter hoogte van de waterlijn, is de middelste verdieping en is vanaf de kade te bereiken via een loopbrug. Het gebouw is 28 meter breed, 28 meter lang en komt ruim 10 meter boven het water uit.

Een groot deel van de begane grond wordt gebruikt voor het mengen van voer voor de koeien en de verwerking van koeienmest. Allerlei reststromen van voedingsmiddelen uit de stad worden verzameld en met behulp van een shovel in een mengmachine gestopt. Via een geautomatiseerd systeem komt het gemengde voer bij de koeien terecht. Op de begane grond wordt ook de melkverwerking gedaan van melk tot kaas en zuivelproducten. Daarnaast wordt op de begane grond de handmatige arbeid verricht die nodig is voor de vertical farm, zoals zaaien en oogsten.

Op de bovenste verdieping is de stal van de koeien met ligbedden, zie Figuur 5 voor een afbeelding. Aan twee kanten van de stal staan voerhekken, waar automatisch gevoerd kan worden nadat op de begane grond voer gemengd is. De koeien worden twee keer per dag gemolken met een volledig automatische melkrobot. De bovenste verdieping is te bereiken vanaf de kade via een losse loopbrug die ook gebruikt kan worden door koeien om naar het weiland op de kade te gaan.



Figuur 5: Koeien in de stal op de boerderij

Het drijfvermogen van de boerderij wordt gecreëerd door drie betonnen barges, waar de bovenbouw op geconstrueerd is. In de holle barges is ruimte die gebruikt kan worden. Deze ruimtes vormen de onderste verdieping. De barges zijn afzonderlijk te bereiken met trappen vanaf de begane grond en hebben een diepte van 3,5 meter onder de waterlijn. In één van de barges is de werkplaats en opslagruimte. De middelste barge wordt gebruikt als kaasrijpingsruimte. In de derde barge is het verticale kweekstelsel van de vertical farm. In de vertical farm worden de zaden in volledig geconditioneerde omgeving opgegroeid tot dat de gewassen geoogst kunnen worden. Door het systeem bewegen dertig platte bakken, de tafels, waarop zwarte trays zijn geplaatst. In de trays worden de gewassen gezaaid en opgegroeid. Een uitgebreidere beschrijving van de vertical farm staat in hoofdstuk 5 paragraaf 3.1 'Bewatering vertical farm'.

5.1.2 Statische en dynamische balans

Binnen de afstudeeropdracht is een belangrijk verschil tussen statische en dynamische balans. Statische balans gaat om de gewichtsverdeling van de boerderij. Afhankelijk van de inrichting kan de gewichtsverdeling ongelijkmatig verdeeld zijn. Hierdoor kan het zwaartepunt naast het middelpunt komen te liggen, waardoor de boerderij scheef gaat liggen. In hoofdstuk 6 paragraaf 6.1 'Analyse huidige gewichtsverdeling' is geanalyseerd wat de gewichtsverdeling is van de bestaande boerderij in Rotterdam.

Dynamische balans is het wisselen van de gewichtsverdeling door processen op de boerderij. Door processen die plaats vinden op de boerderij, kan de gewichtsverdeling na verloop van tijd veranderen. Het zwaartepunt zal door de wisselende verdeling niet altijd op dezelfde plek zitten, waardoor ook de hellingshoek van de boerderij verandert. In hoofdstuk 6 paragraaf 6.3 'Complexiteit bij validatie van analyse' wordt onder het kopje 'Metacentrum drijvende objecten' wordt verder uitgelegd hoe het balanceren van drijvende objecten werkt.

5.2 Opdrachtschrijving

De drijvende boerderij van Floating Farm in Rotterdam ligt scheef doordat de gewichtsverdeling niet in balans is. Sinds de bouw van de boerderij is een aantal grote veranderingen geweest in de processen en daardoor ook in de indeling van de boerderij. Bij de veranderingen in indeling is geen rekening gehouden met de gewichtsverdeling die is veranderd door het toevoegen en veranderen van gewichten. Kijkend naar het statisch evenwicht is de boerderij niet in balans. Daarnaast zijn er opslagsilo's en tanks die een variërend gewicht hebben doordat de opgeslagen hoeveelheid sterk kan variëren. Ook is er een shovel die de boerderij op en af rijdt tijdens werkzaamheden van de boer. Naast een statisch gewichtsverschil is er dus ook een variabel verschil. Het variabele verschil wordt de dynamische onbalans genoemd. Onbalans in de gewichtsverdeling zorgt ervoor bij drijvende objecten dat het object scheef gaat liggen.

De afstudeeropdracht omvat het ontwerp van een balanceersysteem voor toekomstige boerderijen van Floating Farm en het ontwerpen van oplossingen voor de huidige problemen die veroorzaakt worden door de scheefligging van de drijvende boerderij in Rotterdam.

Voor het ontwerp van een balanceersysteem is het belangrijk om een grondige analyse te doen naar de oorzaken van de onbalans. Hierbij moet ook gekeken worden naar wat de effecten zijn per oorzaak en naar wat toelaatbaar is aan hellingshoek van de drijvende boerderij zonder dat het verstoringen van processen oplevert. Als oorzaken worden gevonden waardoor de balans varieert, dan moet ook geanalyseerd worden wat tijdsperiode is waarin dit gebeurt.

Om overzichtelijk weer te geven wat behoort tot de afstudeeropdracht en wat daarbuiten valt zijn twee sub paragrafen geschreven. De deliverables beschrijven de onderdelen die wel binnen de opdracht vallen en wat uiteindelijk het resultaat moet zijn van de opdracht. De kadering bevat de onderdelen die nauw zijn verbonden aan de opdracht, maar buiten beschouwing blijven.

5.2.1 Deliverables

Het te ontwerpen balanceersysteem moet uiteindelijk de variërende gewichtsbalans gaan compenseren bij toekomstige boerderijen. De ontwerpverbeteringen voor de boerderij in Rotterdam moeten de huidige problemen oplossen. Het beoogde einddoel van de afstudeeropdracht draagt hieraan bij en bestaat uit een aantal onderdelen die uitgewerkt, geanalyseerd en ontworpen moeten worden. Hierin is onderscheid te maken in de analyse die uitgevoerd moet worden over de situatie van de boerderij. De twee situaties zijn aanpassingen voor de problemen op de boerderij in Rotterdam en een ontwerp voor een balanceersysteem voor toekomstige boerderijen. De einddoelen, ook wel deliverables genoemd, staan hieronder opgesomd en zijn ingedeeld in de verschillende onderdelen van de afstudeeropdracht:

Analyse boerderij Rotterdam

- Er wordt onderzocht wat de variërende gewichten zijn op de boerderij en de orde grootte en locatie per gewicht is bepaald. Het concrete resultaat hierbij is een rekenmodel met daarin aangegeven wat de huidige gewichtsverdeling is en een totaalbalans van de boerderij is opgesteld;
- Er wordt onderzocht of de resultaten van het rekenmodel valide zijn en hoe dit gelinkt kan worden aan de hellingshoek;
- Er wordt een advies gegeven op basis van de analyse in welke situaties een balanceersysteem nodig is.

Ontwerpverbeteringen boerderij in Rotterdam

Er worden voorstellen gedaan voor ontwerpverbeteringen om de huidige problemen op de boerderij op te lossen die veroorzaakt worden door het scheef liggen. Hierbij moet gekeken worden of het mogelijk is om de gewichtsbalans te herstellen. Als dit niet mogelijk wordt geacht wordt er gekeken naar wat voor andere ontwerp aanpassingen mogelijk zijn. Een ontwerpverbetering is een mogelijke techniek of aanpassing aan het huidige systeem, met oog voor eenvoud, kosten, robuustheid en mogelijke risico's.

Ontwerp balanceersysteem

- De maximaal toelaatbare hoekverdraaiing en de gewenste toelaatbare marge voor de hoekverdraaiing is bepaald voor de huidige processen;
- Er is onderzocht hoe de hoekverdraaiing van de boerderij accuraat genoeg gemeten kan worden;
- Er is een conceptontwerp van een balanceersysteem voor toekomstige boerderijen. Een conceptontwerp is een mogelijke techniek of toepassing die geïmplementeerd kan worden op boerderijen die in de (nabije) toekomst gebouwd gaan worden. De werking van dit concept is te valideren op basis van bestaande technieken uit de praktijk en door de concepten voor te leggen aan ingenieurs van partner bedrijven.

5.2.2 Kadering

Door de ruime omvang van de opdracht en vele factoren die voorafgaand onderzocht moeten worden, zijn ook een aantal factoren en taken die buiten het kader van de opdracht vallen. Gedurende de afstudeerperiode zijn de deliverables in overleg met alle begeleiders gedeeltelijk veranderd. Dit is samengevat in de kadering van de opdracht. Voorafgaand aan de start van de opdracht is er ook al een aantal aspecten van het project die buiten de grenzen van de opdracht vallen. De kadering van de afstudeeropdracht staat in deze sub paragraaf verder beschreven.

Doordat alleen de fases oriëntatie, analyse en ontwerp van het ontwerpproces doorlopen worden, zijn er aspecten uit de fases detaillering en realisatie die buiten de kadering vallen. Als in de toekomst een eerste ontwerp is gemaakt en meer bekend is over een nieuwe boerderij kan dit ontwerpproces worden vervolgd. Een opsomming van een aantal aspecten die buiten de kaders van de opdracht valt:

- In de ontwerpvoorstellen wordt alleen gekeken naar de balans op basis van de gewichtsverdeling. Met effecten zoals versnelling en massatraagheid wordt in de ontwerpen geen rekening gehouden omdat dit de principiële werking van het ontwerp niet gaat beïnvloeden;
- Er gaan geen proof of concept gemaakt worden van concepten, wat wel genoemd stond in het plan van aanpak. De validatie van deze testen wordt lastig gemaakt doordat de concepten sterk geschaald moeten worden. Hierdoor zijn principes als massatraagheid lastig mee te nemen;
- Doordat de detaillering fase niet uitgevoerd wordt, wordt onder andere geen 3D CAD-model gemaakt van het uiteindelijke ontwerp;
- Er worden geen werktekeningen of andere productiegerichte documenten gemaakt van het uiteindelijke ontwerp.

5.3 Probleemanalyse

De aanleiding voor deze afstudeeropdracht is een aantal problemen die veroorzaakt worden door het scheef liggen van de boerderij. De probleemstelling van de afstudeeropdracht is: de drijvende boerderij ligt scheef door een onbalans in gewichtsverdeling, wat verschillende verstoringen oplevert van processen. In deze paragraaf zal dieper worden ingegaan op de gevolgen van deze problemen. Op de huidige boerderij in Rotterdam zijn twee problemen waar iets aan gedaan moet worden. Mestophoping in de koeienstal is een probleem en er is een probleem met de bewatering van de gewassen in de vertical farm. Beide problemen zullen worden toegelicht in losse sub paragrafen. Naast deze twee problemen is we ook nog de ontwerp-opdracht voor een balanceersysteem. De derde sub paragraaf zal hierop ingaan hoe de probleemanalyse wordt aangepakt.

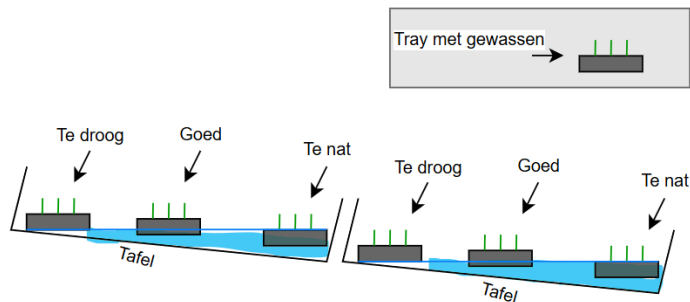
5.3.1 Bewatering vertical farm

Het eerste probleem ten gevolge van het scheef liggen van de boerderij is dat de bewatering van de gewassen in de vertical farm niet gelijkmatig is. Op het onderste niveau van de drijvende boerderij worden gewassen verbouwd in een vertical farm. Dit is een geautomatiseerd kweekstelsel waarin verschillende gewassen boven elkaar in lagen worden gekweekt. De gewassen worden handmatig gezaaid in bakken, vervolgens gaan de bakken het kweekstelsel in en worden ze opgekweekt. Als de gewassen volledig gegroeid zijn en klaar om te oogsten, komen de bakken het systeem uit en wordt er handmatig geoogst. Het kweekstelsel op de drijvende boerderij bestaat uit drie lagen van tien grote bakken. Deze bakken worden tafels genoemd. In Figuur 6 staan afbeeldingen van de vertical farm. De linker afbeelding is het gehele kweekstelsel, waarin de drie kweeklagen te zien zijn. De rechter afbeelding is een tafel, de grote bakken die automatisch door het systeem heen bewegen. In de afbeelding zijn de zwarte bakken te zien waarin de gewassen groeien, dit worden trays genoemd. Meerdere trays gaan op een tafel door het systeem. Om de gewassen van voldoende water en voedingsstoffen te voorzien is elke tafel gevuld met een laag water met opgeloste voedingsstoffen.



Figuur 6: De vertical farm met links het systeem met drie kweeklagen en rechts de trays met gewassen

Het probleem bij dit systeem is dat de tafels ook scheef staan doordat de boerderij scheefligt. Hierdoor is het waterniveau in de tafels ook niet gelijkmatig, want water stroomt naar het laagste punt. Gewassen aan de hoge kant van de tafel hebben dus te weinig water, maar trays aan de lage kant hebben te veel water. Hierdoor drogen dus zaden uit, maar zijn er ook zaden die verdrinken. In Figuur 7 is een schets weergegeven om het probleem te verduidelijken. Dit probleem wordt op dit moment opgelost door alle gewassen met de hand water te geven. Het automatische bewateringssysteem kan dus niet gebruikt worden.



Figuur 7: Bewateringsprobleem vertical farm

5.3.2 Mestophoping

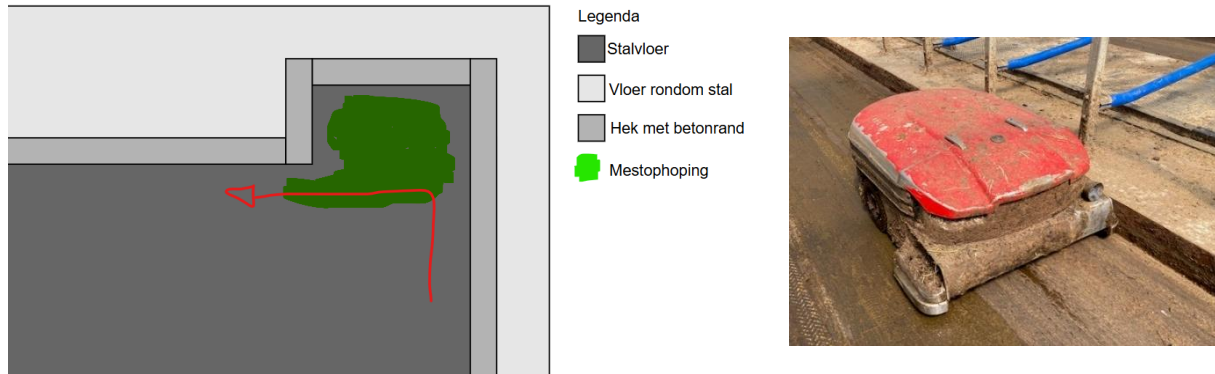
Het tweede probleem dat door de scheefligging van de boerderij wordt veroorzaakt, is mestophoping in de koeienstal. Net zoals water stroomt ook koeienmest naar het laagste punt. Als de boerderij scheefligt, dan is de stalvloer dus ook niet horizontaal en loopt alle mest naar een hoek van de stal. In Figuur 8 is de hoek te zien waar de mest zich ophoopt.



Figuur 8: Laagstgelegen hoek van de stal waar mest ophoopt

De koeienmest wordt verzameld door een mestrobot. Als de koeienmest gelijkmatig verdeeld is over de stalvloer kan alle mest verzameld worden bij de mestput. Maar doordat een groot deel van de mest naar één hoek stroomt en zich daar ophoopt, kan de mestrobot deze hoeveelheid in die hoek niet verwerken. Het opzuigen van de mest wordt ook vermoeilijk voor de mestrobot door de twee scherpe hoeken waar de mest ophoopt. De rubberen vloertegels liggen ook los in de hoek, waar ook veel mest onder blijft liggen.

De mestophoping zorgt voor stank, extra uitstoot van ammoniak en kan problemen opleveren aan de klauwen van de koeien. Op dit moment wordt de overtollige mest in de hoek handmatig verschoven naar de mestput. Dit is intensief werk en kost de boer elke dag veel tijd. In Figuur 9 is in de linker schets de route te zien die de mestrobot nu rijdt. Daarin is ook aangegeven waar de mest zich ophoopt. In de rechter afbeelding is de mestrobot weergegeven.



Figuur 9: In de linker afbeelding een schets van de mest ophoping en rechts de mestrobot

5.3.3 Ontwerpen van balanceersysteem

Voor een beter begrip van de oorzaken is in hoofdstuk 6 paragraaf 6 ‘Analyse Floating Farm Rotterdam’ een zeer uitgebreide analyse uitgevoerd naar de oorzaken van het probleem. Hierbij is geanalyseerd wat de grootte is van gewichtsverschil op de boerderij in Rotterdam en in welke mate dit effect heeft op de problemen uit voorgaande sub paragrafen. De analyse bestaat uit een rekenmodel waarin een analyse wordt gedaan van de gewichtsverdeling. Vervolgens is zeer kritisch gekeken naar de validiteit van dit model. Uit de resultaten en conclusies uit dit rekenmodel moet blijken in welke gevallen een dynamisch balanceersysteem moet komen. In hoofdstuk 7 paragraaf 3 ‘Concepten balanceersysteem’ gaat een balanceersysteem ontworpen worden.

5.4 Doelstellingen opdracht

De doelstelling bij deze opdracht is een advies uitbrengen hoe de problemen, veroorzaakt door de onbalans in gewichtsverdeling, verholpen kunnen worden. Voor de huidige problemen op de boerderij moet een oplossing gevonden worden, passend binnen de mogelijkheden die er zijn. Daarnaast is het doel om te voorkomen dat dergelijke problemen zich opnieuw voordoen op toekomstige boerderijen die nog gebouwd gaan worden. Hiervoor moet een advies komen voor wat gedaan kan worden om onbalans te voorkomen, maar ook in welke situaties het nodig kan zijn om wel een balanceersysteem te ontwerpen.

Om deze doelen te bereiken wordt er gewerkt volgens een vastgestelde ontwerpmethode. Deze methode staat beschreven in hoofdstuk 4 ‘Methode van aanpak’. Hierin wordt omschreven welke stappen er genomen moeten worden om de doelstelling van deze ontwerpopdracht te behalen. Belangrijke stappen die hiervoor genomen moeten worden zijn het analyseren van de huidige gewichtsverdeling en het bundelen van alle eisen en wensen in een programma van eisen. Vervolgens worden verschillende concepten per probleem ontworpen, die onderling vergeleken moeten worden om tot de beste ontwerpverbeteringen te komen.

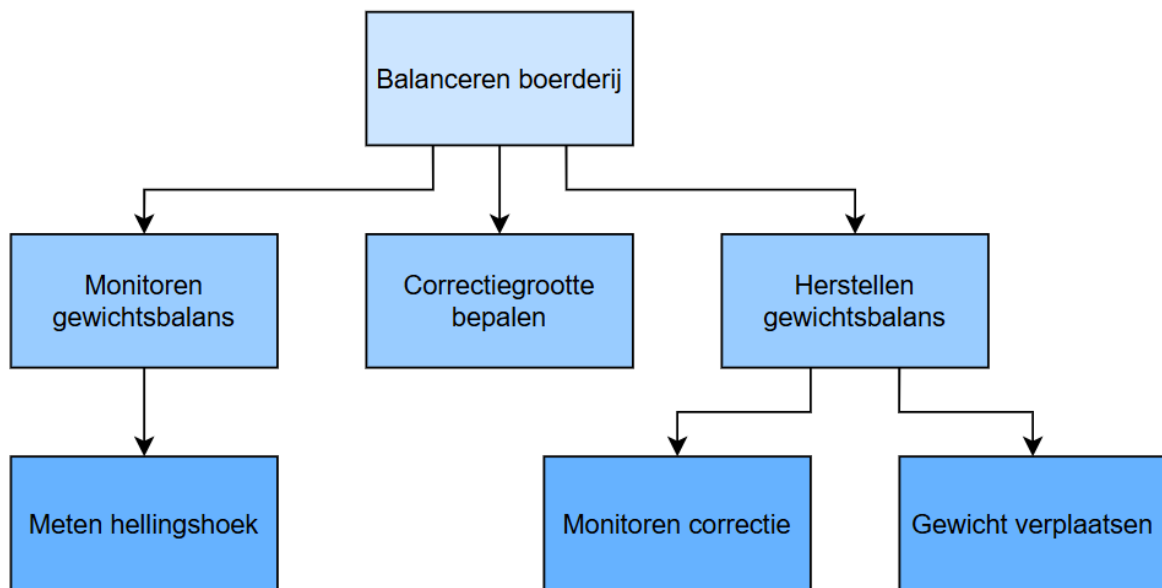
Fase 2 – Analyse

6. Probleemanalyse

De analyserende fase geeft een groter inzicht in de achtergrond van de ontwerpopdracht. Er wordt gekeken naar de functies van een balanceersysteem. De hoofd- en deelvragen worden geformuleerd en in de daaropvolgende paragrafen beantwoord. De klantwensen per doelgroep en het programma van eisen zijn opgesteld. Een belangrijk onderdeel van de afstudeeropdracht is het analyseren van de balans in gewichtsverdeling op de boerderij in Rotterdam. Deze analyse staat ook in dit hoofdstuk uitgewerkt.

6.1 Functieboom

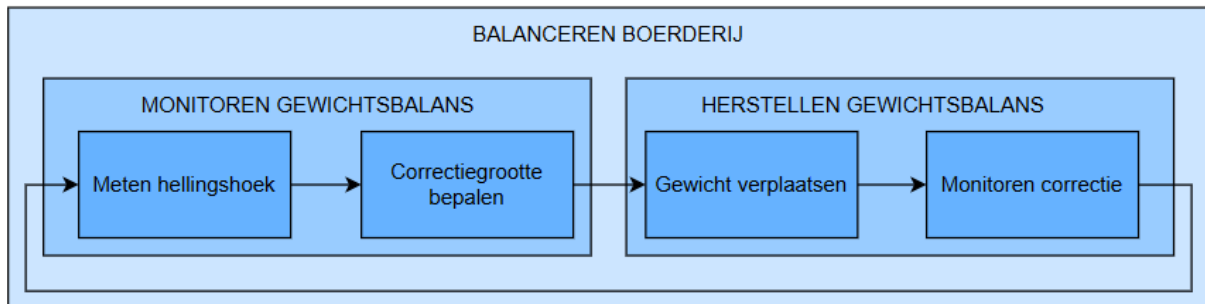
Van de functies voor het balanceersysteem is een functieboom gemaakt. Een functieboom geeft een overzicht in de functies die het ontwerp moet kunnen vervullen. Een functie beschrijft een actie die uitgevoerd moet worden, met behulp van een werkwoord en zelfstandig naamwoord. De hoofdfunctie van het balanceersysteem is het balanceren van de drijvende boerderij, samengevat tot 'Balanceren boerderij'. De hoofdfunctie bestaat uit een aantal deelfuncties, welke ook weer uit verschillende onderdelen bestaan. De functieboom staat weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Functieboom van een balanceersysteem voor drijvende boerderijen

6.2 Functieblokschema

Door de gedefinieerde functies uit een functieboom te herindelen op basis van tijdsverloop, wordt het inzichtelijk welke functie elkaar opvolgen. Dit is ook gedaan met de functieboom voor het balanceersysteem van de drijvende boerderij, door een functieblokschema te maken. In Figuur 11 is het functieblokschema weergegeven. De deelfunctie in de diepste laag van de functieboom vormen het proces van het balanceren.



Figuur 11: functieblokschema voor het balanceersysteem voor een drijvende boerderij

6.3 Hoofd- en deelvragen

In deze paragraaf zijn de hoofd- en deelvragen van de scriptie geformuleerd. Gedurende het verloop van de ontwerpopdracht worden de deelvragen beantwoord aan de hand van analyses en ontwerpprocessen. Met behulp van de deelvragen kan aan het eind van het ontwerpproces de hoofdvraag beantwoord worden. De hoofdvraag staat hieronder geformuleerd, met daarbij puntsgewijs de deelvragen:

Wat zijn goede methodes om problemen rondom statische en dynamische onbalans in de gewichtsverdeling van de drijvende boerderij op te lossen?

- Waar moeten de ontwerpverbeteringen en concepten aan voldoen om de problemen te verhelpen?
- Wat is de oorzaak waardoor de boerderij nu scheefligt en is dit altijd al zo geweest?
- Wat is het effect van statische onbalans in de gewichtsverdeling?
- Wat is het effect van dynamische onbalans in de gewichtsverdeling?
- Op basis van welke criteria wordt geadviseerd wat de beste ontwerpverbetering per probleem is?
- Wat is de huidige gewichtsverdeling van de drijvende boerderij in Rotterdam?
- Wat zijn de betrokken doelgroepen en wat zijn de klantwensen per doelgroep?

6.4 Stakeholder analyse

In deze paragraaf is geanalyseerd wat de belangen zijn van de doelgroepen bij deze opdracht. Het in kaart brengen van de belangen zorgt ervoor dat een compleet beeld ontstaat van het probleem. Het probleem vanuit verschillende perspectieven bekijken, draagt bij aan deze beeldvorming. In de eerste sub paragraaf zal een beschrijving gegeven worden van de doelgroepen en wat de relatie is tot het probleem. Daarna zullen de klantwensen worden geanalyseerd van de doelgroepen.

6.4.1 Doelgroep beschrijving

Floating Farm, doelgroep A: Deze doelgroep is verbonden aan deze opdracht doordat dit het bedrijf is dat de drijvende boerderij ontwerpt en ontwikkeld. Deze doelgroep is de opdrachtgever van deze afstudeeropdracht. Er wordt naar gestreefd om de drijvende boerderij in Rotterdam te verbeteren en alle ontwerpverbeteringen te implementeren op boerderijen die in de toekomst gebouwd gaan worden.

Gewassenteler, doelgroep B: De gewassenteler is de partij die alle werkzaamheden verricht om de gewassen te telen op de drijvende boerderij in de vertical farm. In hoofdstuk 5 paragraaf 1 'Context' staat een beschrijving van dit kweekstelsel. Voorbeelden van de werkzaamheden die de gewassenteler verricht zijn zaaien, het kweekstelsel beheren en oogsten.

Koeienboer, doelgroep C: Op de drijvende boerderij is een koeienboer werkzaam die de verzorging van de koeien coördineert. Hierbij hoort ook het onderhouden en schoonhouden van de stal en boerderij.

Kweeksystemen bedrijf, partner van vertical farm, doelgroep D: Het kweekstelsel van de vertical farm is in samenwerking tussen een partnerbedrijf en Floating Farm ontwikkeld. Dit gaat om het mechanische systeem van het transporteren van de kweekbakken en het beheren van het klimaat in de vertical farm. Het is dus ook in het belang van deze doelgroep dat er ontwerpverbeteringen komen zodat het systeem beter functioneert.

Afnemers Floating Farm producten, doelgroep E: Deze doelgroep neemt de producten zoals zuivel, kaas en groenten af die geproduceerd en verwerkt worden op de drijvende boerderij. Onder deze doelgroep vallen klanten van de boerderijwinkel, maar ook bedrijven, cafés en restaurants die de producten afnemen.

6.4.2 Overzicht klantwensen

Van de beschreven doelgroepen in de voorgaande sub paragraaf zijn de klantwensen geanalyseerd. In Tabel 3 staat een overzicht van deze klantwensen. De linker kolom beschrijft de klantwensen. De kolommen A tot en met E staan voor de doelgroepen uit de vorige paragraaf. In de kolommen A tot en met E is per doelgroep aangegeven of de klantwens aansluit bij de doelgroep.

Tabel 3: Klantwensen

Klantwens	A	B	C	D	E
Gezond en lokaal eten produceren op een verantwoorde en duurzame manier.	x	x	x	x	x
De oorzaken van de scheefligging van de drijvende boerderij in Rotterdam worden geanalyseerd.	x				
Een advies met ontwerpverbeteringen om te voorkomen dat op toekomstige boerderijen de scheefligging van de boerderij weer voor problemen gaat zorgen.	x				
Een advies hoe in de toekomst bepaald kan worden in welke situatie extra systemen of ontwerpaanpassingen nodig zijn voor de balans van een drijvende boerderij	x				
Oplossingen voor de problemen met het watersysteem van de vertical farm, dat op dit moment niet werkt. Deze oplossing moet ervoor zorgen dat er automatisch bewaterd kan worden, waardoor de handmatige arbeid verminderd wordt.	x	x		x	
Oplossingen voor de mestophoping in de stal. Deze oplossing moet ervoor zorgen dat de handmatige arbeid verminderd wordt.	x		x		
Voor de oplossingen van de klantwens over bewatering en mestophoping moet er gekeken worden naar de mogelijkheden van implementatie, kosten en opbrengsten.	x	x	x		

6.5 Programma van eisen

Uit de probleemanalyse zijn vier ontwerp opdrachten voortgekomen. In deze paragraaf wordt voor iedere ontwerp opdracht een programma van eisen opgesteld. Iedere ontwerp opdracht heeft zijn eigen groepering in het programma van eisen. De groepering is als volgt ingedeeld:

- Groep 1 – bewatering vertical farm
- Groep 2 – mestophoping koeienstal
- Groep 3 – toekomstig balanceersysteem
- Groep 4 – herstellen gewichtsverdeling

Het programma van eisen bestaat uit ontwerp- en succescriteria, die beiden in een aparte paragraaf worden opgesteld. Ontwerpcriteria zijn harde eisen waar een ontwerp aan moet voldoen. Deze eisen zijn zo specifiek mogelijk geformuleerd. Succescriteria worden gebruikt om concepten onderling te vergelijken om de keuze te kunnen onderbouwen wat het beste concept is.

6.5.1 Ontwerpcriteria

Ontwerpcriteria zijn opgesteld per groepering van ontwerp opdracht. Een tabel met alle criteria staat in Bijlage III: 'Programma van eisen'. Per criterium staat de eenheid aangegeven waarin het criterium staat uitgedrukt. De bron geeft aan vanuit welke doelgroepen het criterium voortkomt, met daarbij de datum wanneer er voor het laatst een aanpassing is geweest. Als iets is veranderd aan het criterium is dit doorgestreept en is de verandering te zien. De verificatiemethode geeft aan hoe het criterium getoetst moet worden.

6.5.2 Succescriteria

Er zijn succescriteria uitgewerkt per groepering van ontwerp opdracht. Een tabel van alle succescriteria is opgenomen in Bijlage III: 'Programma van eisen'. Per criterium staat de weging aangegeven. Een hoger getal betekend dat het criterium belangrijker is en dus ook een hogere weging. Per criterium staat de eenheid aangegeven waarin het criterium staat uitgedrukt. De verificatiemethode geeft aan wanneer het criterium getoetst moet worden.

6.6 Analyse Floating Farm Rotterdam

Deze paragraaf beschrijft de analyse die is gedaan naar gewichtsverdeling van de boerderij in Rotterdam. De aanpak van de analyse wordt eerste beschreven, opgevolgd door de resultaten. Ter controle van de analyse is de hellingshoek gemeten van de boerderij over een tijdsinterval. De validatie van de analyse is complex door een aantal aspecten die beschreven worden in de derde paragraaf.

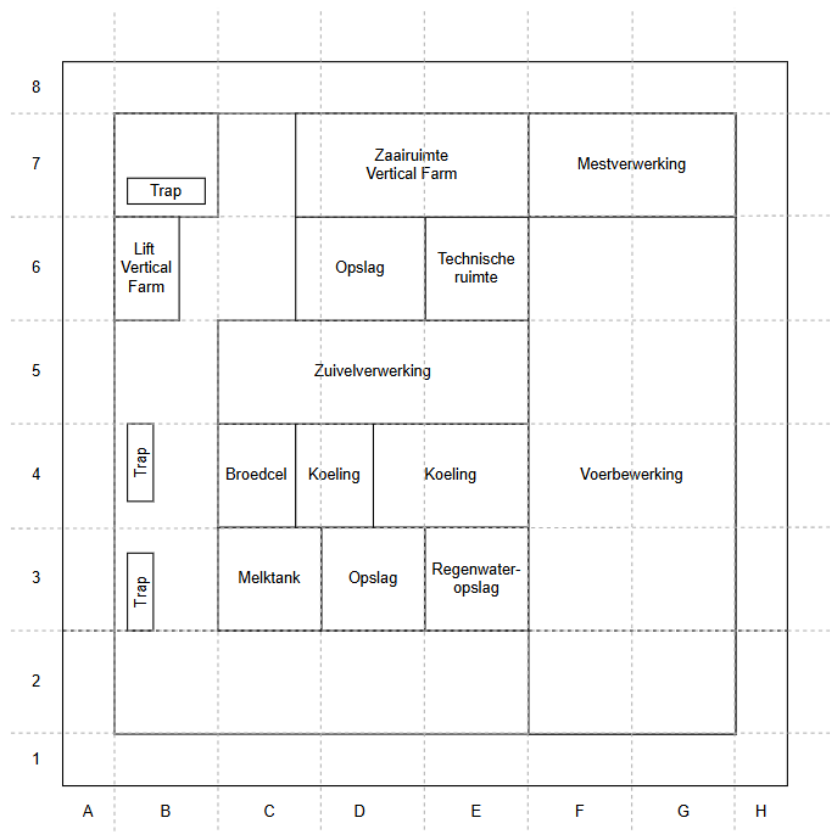
6.6.1 Analyse huidige gewichtsverdeling

Aanpak analyse

Om te analyseren wat de huidige gewichtsverdeling is van de boerderij, is een rekenmodel gemaakt met als resultaat de verschillen in moment in lengte- en breedterichting. Om tot deze gewichtsverdeling te komen is de gewichtsverdeling van de boerderij nauwkeurig in kaart gebracht.

Het rekenmodel is opgesteld voor de boerderij in Rotterdam. Het rekenmodel is echter zo gemaakt dat het eenvoudig aan te passen is en te gebruiken is voor toekomstige boerderijen. Met dit rekenmodel zou daarvoor dus ook de gewichtsverdeling in kaart gebracht kunnen worden.

Hiervoor is de boerderij opgedeeld in een raster per verdieping en is per vak de belasting bepaald. De vakken uit het raster zijn benoemd op basis van een letter voor de kolom en een cijfer voor de rij. Voor alle drie de verdiepingen is in kaart gebracht wat de belasting is per raster vak. Ter illustratie hoe deze analyse is uitgevoerd staat in Figuur 12 een plattegrond van de begane grond van de boerderij. Het volledige rekenmodel is toegevoegd in Bijlage I.



Figuur 12: Plattegrond van de begane grond, het raster is gemaakt met stippellijnen

Voor de analyse van de gewichtsverdeling is al het gewicht meegenomen dat een significant verschil kan maken in het resulterende moment. Zowel extra belasting zoals tanks of opslag, als gewichtsbesparing zoals trapgaten in vloeren, is hierin meegenomen. Voor dit rekenmodel is aangenomen dat de boerderij constructief in balans is. Dit mag gedaan worden omdat bij de constructeur is nagegaan of dit geldig was bij oplevering, zie Bijlage II: Notulen Bertels & Vedder.

Nu in kaart is gebracht wat de belasting is per raster vak, kan een overzicht gemaakt worden per verdieping. Hiervoor is een rekenmodel gemaakt in Excel om alle belastingen te plotten in de rastervakken van de plattegrond per verdieping. In het rekenmodel is de balans opgesteld in twee richtingen, de horizontale as en de verticale as. Een belangrijke opmerking is dat horizontaal en verticaal gedefinieerd is op basis van de plattegronden, dus van bovenaf bekeken. Dit is gedaan omdat de verdeling in beide richtingen van invloed is op de uiteindelijke scheefligging van de boerderij.

Echter is dit resultaat van de gewichtsverdeling niet veel zeggend. Dit komt doordat een gewicht op een grote afstand van het middelpunt een grotere invloed heeft op de hellingshoek dan een gewicht dat dicht bij het middelpunt staat. Dit is te verklaren met behulp van de volgende theorie, het resulterende moment. Het resulterende moment van de belastingen is bepaald door de grootte van het gewicht van het object en de afstand dat het object uit het middelpunt is verplaatst. Het verband hiertussen is de volgende formule:

$$M = F \cdot s$$

Waarin de symbolen de volgende betekenis hebben:

M = het moment [Nm]

F = de kracht (het gewicht per raster vak) [N]

s = de arm [m]

Resultaten analyse

In deze figuren is de belasting van alle drie de verdiepingen bij elkaar opgeteld. Aan elk vak van het raster is een kleur toegekend op basis van een kleurschaal. Hoe donkerder de kleur is, hoe groter het moment is. De legenda van de gebruikte kleuren is als volgt:

- Rood: Het vak heeft een gewicht dat resulteert in een neerwaartse kracht;
- Groen: Het vak heeft een gewichtsbeparing die resulteert in een opwaartse kracht;
- Geel: Het vak heeft geen resulterende kracht.

In Figures 13 en 14 staan de resultaten van het rekenmodel van de gewichtsverdeling, waarin is berekend wat de resulterende momenten zijn in breide richtingen. Eerst zal het resultaat gegeven worden van de horizontale verdeling en vervolgens wordt het resultaat van de verticale verdeling gegeven.

TOTAAL								
9								
8	13125	10526,78	0	0	0	0	-2598,22	1698,047
7	0	18742,09	7829,59	329,5898	8298,34	3610,84	32167,25	1212,891
6	0	-19489,7	3741,504	4979,004	8709,897	5541,504	8283,691	896,4844
5	0	1125	7529,297	7435,547	8091,797	187,5	7968,75	618,3248
4	0	3112,5	7191,797	7041,797	7266,797	281,25	2812,5	383,2031
3	0	9618,75	14343,75	1181,25	12656,25	5343,75	12164,06	727,7344
2	937,5	3281,25	1593,75	937,5	2906,25	35437,5	11250	1212,891
1	14437,5	0	17062,5	0	0	13125	1706,25	1698,047
A	B	C	D	E	F	G	H	I
					Total moment bovenste helft			140560,8
					Total moment onderste helft			189711,3
					Total moment verschil			-49150,6

Figuur 13: Resultaat van het rekenmodel, waarin het momentverschil over de horizontale as is berekend

Als resultaat van het rekenmodel is het momentverschil over de horizontale as uitgerekend. Als die momentverschil wordt omgerekend dan is het verschil ongeveer vijfduizend kilogram, op één meter uit het middelpunt. De hoofdoorzaken hiervan zijn op basis van de kleurenschaal eenvoudig te herleiden. In dit geval zijn de rastervakken met de grootste invloed op de verdeling de regenwateropslag op de begane grond en de vuilwateropslag in de werkplaats in F2. Deze twee tanks zijn ver uit het midden geplaatst waardoor ze een grotere arm hebben dan andere variërende gewichten. Daarnaast is opvallend dat de uitsparing voor de lift in de vloer in B6 een grote gewichtsbesparing is en daardoor ook een grote invloed heeft op de balans.

[illegible]

Figuur 14: Resultaat van het rekenmodel, waarin het momentverschil over de verticale as is berekend

Voor de verdeling over de verticale as is te zien dat de rechterhelft een groter moment heeft. Als het moment verschil wordt omgerekend dan is er een gewichtsverschil van ongeveer zesduizend kilogram, op één meter uit het middelpunt. De disbalans in de verticale richting komt met name doordat in de positieve as-richting het meeste gewicht staat en een aantal uitsparingen in de vloer zitten in de negatieve as-richting. In Figuur 14 is te zien dat grootste momenten worden veroorzaakt in G5 en B6. In vak G5 staat de voersilo en in vak B6 zit een grote uitsparing in de vloer voor de lift.

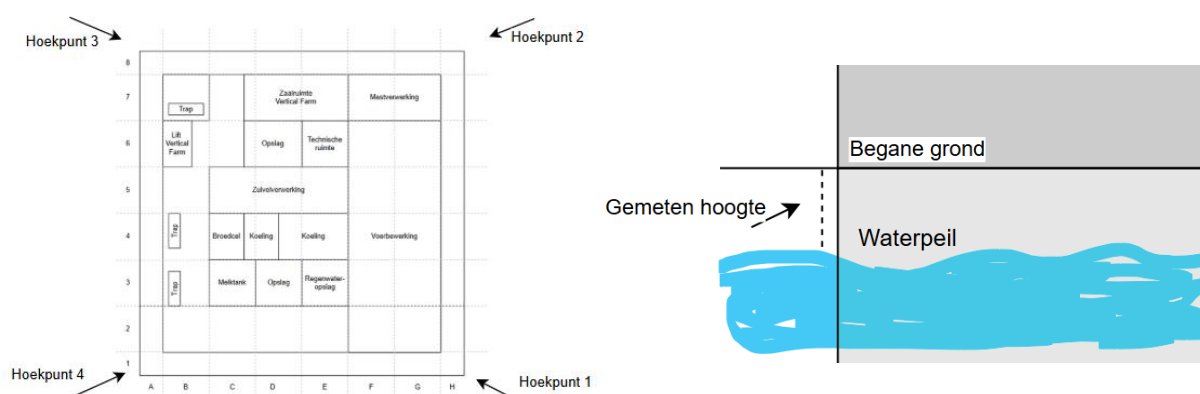
Uit de analyse kunnen de grootste belastingen achterhaald worden, doordat er een kleurenschaal is toegekend op basis van de grootte van het gewicht. In Tabel 4 staat een opsomming van de tien grootste belastingen per raster vak. Het raster vak is aangegeven met een letter en cijfer en de verdieping wordt daarachter aangegeven. B7 V-1 staat dus voor kolom B, rij 7 op verdieping -1. Per belasting staat aangegeven wat het percentage is van dit gewicht ten opzichte van het totaalgewicht van de geanalyseerde belastingen. In deze percentages is dus niet het gewicht van de constructie van de boerderij meegenomen. Ook wordt in de tabel weergegeven of dit een variërend gewicht is of niet.

Tabel 4: Grootste belastingen uit de analyse

Raster vak	Belasting	Percentage	Variërend
B6 V0	Uitsparing in vloer voor vertical farm lift	10,0	Nee
G5 V0	Krachtvoersilo koeien	9,9	Ja
B7 V-1	3x contragewicht IBC	9,5	Nee
B3 V-1	3x contragewicht IBC	8,6	Nee
B4 V-1	3x contragewicht IBC	8,6	Nee
C5 V0	Dekvloer zuivelruimte	5,8	Nee
C4 V0	Dekvloer zuivelruimte	5,8	Nee
F2 V0	Shovel	5,6	Ja
G7 V-1	Watertank vertical farm	5,2	Ja
C1 V1	Koeienbrug naar kade	4,9	Nee

6.6.2 Meting variatie in hellingshoek

Om een globale inschatting te maken van de hellingshoek van de drijvende boerderij ten opzichte van de waterlijn zijn er metingen uitgevoerd. Op een aantal moment over een periode van meerdere dagen is er met een digitale hoekmeter de hellingshoek van de vloeren gemeten. Hieruit blijkt dat de schommeling in hellingshoek klein is. Hierdoor is een andere methode gebruikt om de hellingshoek te bepalen, om te controleren of de resultaten van de digitale meter nauwkeurig waren. Voor deze meting is de afstand van de waterlijn tot de vloer van de begane grond gemeten. Deze metingen zijn gedaan op alle vier de hoekpunten van de boerderij. In Figuur 15 staat een schets van de uitgevoerde metingen.



Figuur 15: Links de hoekpunten aangegeven waar gemeten is. Rechts een schets van de gemeten hoogte

De meetresultaten van de digitale hoekmeter zijn in Tabel 5 weergegeven en de resultaten van de metingen van het hoogste verschil tussen de waterlijn en de begane grond in Tabel 6.

Tabel 5: Meetresultaten digitale hoekmeter

Hoek verticale as [graden]	Hoek horizontale as [graden]
0,54	0,08
0,47	0,11
0,51	0,26

Tabel 6: Resultaten metingen van hoogte waterpeil ten opzichte van begane grond

Afstand hoekpunt 1 [cm]	Afstand hoekpunt 2 [cm]	Afstand hoekpunt 3 [cm]	Afstand hoekpunt 4 [cm]
79	77	111	107
73	73	108	112
72	77	120	106

De hellingshoek kan berekend worden op basis van de metingen. De gebruikte lengte van de drijvende boerderij is 28 meter. Voor het berekenen van de hellingshoek is onderstaande formule gebuikt:

$$\theta = \arcsin \frac{dh}{l}$$

Waarin de symbolen de volgende betekenis hebben:

θ = de hellingshoek [graden]

dh = het verschil in de gemeten hoogtes [m]

l = de lengte van de drijvende boerderij [m]

Voor de hellingshoek in verticale richting is het gemiddelde verschil genomen tussen hoekpunten 1 en 4 en hoekpunten 2 en 3. Voor de hellingshoek in horizontale richting is het gemiddelde verschil genomen tussen hoekpunten 1 en 2 en hoekpunten 3 en 4.

De resultaten van deze berekening zijn de hellingshoeken in verticale en horizontale richting op basis van de gemeten hoogteverschillen. De resultaten hiervan staan in Tabel 7.

Tabel 7: Resultaten meting waterstand op hoekpunten met bijbehorende hellingshoek van boerderij

Gem. hoogteverschil verticale as [cm]	Gem. hoogteverschil horizontale as [cm]	Hellingshoek verticale richting [graden]	Hellingshoek horizontale richting [graden]
31	3	0,63	0,06
37	2	0,77	0,04
39	10	0,80	0,20

Conclusie: De meetresultaten uit beide meetmethodes komen overeen met elkaar in orde van grootte. Op basis van de resultaten kan gezegd worden dat de metingen van de digitale hoekmeter nauwkeurig genoeg zijn voor deze fase van ontwerpen. Ook kan op basis van de kleine schommeling in de gemeten hellingshoeken geconcludeerd worden dat er geen grote schommelingen optreden over verloop van tijd. Dit blijkt met name uit de resultaten van de tweede meetmethode van het waterniveau, waarin de schommeling in hellingshoek beperkt is bij relatief grote veranderingen in hellingshoek. Tussen het tweede en derde meetmoment is de voersilo bijgevuld, waardoor de voersilo met ruim 4500 kilogram zwaarder is geworden. Dit is een van de grootste plotselinge veranderingen in gewichtsverdeling, waarbij de hellingshoek dus binnen een acceptabele waarde veranderd.

6.6.3 Complexiteit bij validatie van analyse

Op basis van het rekenmodel dat in de voorgaande paragraaf beschreven staat, is inzichtelijk gemaakt waardoor het komt dat de boerderij scheefligt. Om te bepalen wat de hellingshoek is van de boerderij moet echter wel nog rekening worden gehouden met een aantal principes, die het probleem complexer maken. Er zullen twee principes hieronder worden toegelicht die van invloed zijn op de hellingshoek van de boerderij, doordat het een versterkende of verminderende invloed heeft op de hellingshoek.

De theorie die in de volgende twee paragrafen wordt behandeld, komt voort uit ontwerpvergaderingen die gedaan zijn met ingenieurs van partner bedrijven Damen Shipyards en Bartels & Vedder. Notulen van deze vergaderingen zijn opgenomen in de bijlage II 'Notulen'.

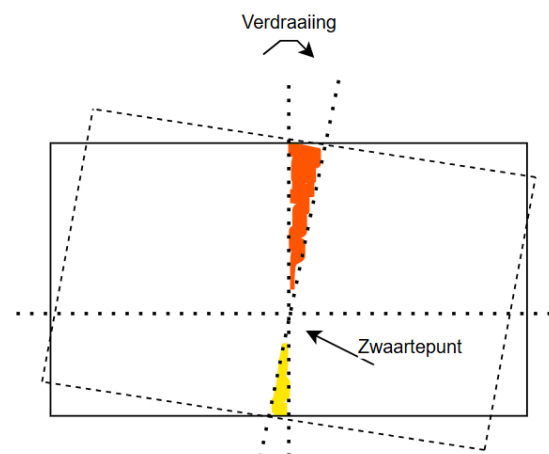
Het eerste en tweede orde effect

Het eerste principe dat invloed heeft op de hellingshoek van de boerderij is een versterkend effect dat veroorzaakt wordt door de verdraaiing. Dit principe is ter sprake gekomen in het gesprek met Jelle Vedder, waarvan de notulen is opgenomen in bijlage II 'Notulen'. Dit principe wordt het eerste en tweede orde effect genoemd voor drijvende objecten. Het eerste orde effect is het verschil in gewichtsverdeling, waardoor het drijvende object scheef gaat liggen onder een hellingshoek. Dit is hetzelfde effect waarvoor het rekenmodel opgesteld is van de gewichtsverdeling van de boerderij.

Het tweede orde effect dat zich voordoet na de verdraaiing van een drijvend object, is dat de totale verdeling van het gewicht ook veranderd. Hieronder staat een uitleg over dit tweede orde effect. Dit tweede orde effect vormt ook een basis voor het tweede principe dat later behandelt zal worden in de paragraaf over het metacentrum. Het tweede orde effect is dat door de hellingshoek van het drijvende object de gewichtsverdeling nog minder in balans is.

Ter verduidelijking van dit principe is Figuur 16 gemaakt dat gebruikt zal worden voor de verdere uitleg. In dit figuur staat een schets van de drijvende boerderij, als rechthoek, met de verticale en horizontale assen door het zwaartepunt.

Door een verschil in gewichtsverdeling in de afbeelding waarbij de rechterhelft zwaarder is dan de linkerhelft, zal de boerderij aan de rechterkant zakken. Door deze verdraaiing zal ook de verticale as door het zwaartepunt verdraaien. Hierdoor komt van zowel de linker als de rechterhelft een stukje aan de andere kant van het zwaartepunt, in het figuur aangegeven met oranje en gele arcering.



Figuur 16: Schets eerste en tweede orde effect

Het zwaartepunt ligt op de verticale as onder het middelpunt van de boerderij, waardoor het verplaatste stukje door de verdraaiing van boven het zwaartepunt, in oranje arcering, groter zijn dan het verplaatste stukje van onder het zwaartepunt, in gele arcering. Dit heeft het gevolg dat de rechterkant die al zwaarder was, nog zwaarder zal worden. Deze extra verdraaiing heeft tot gevolg dat de onbalans in gewichtsverdeling van drijvende objecten niet direct om te rekenen is naar hellingshoek van het drijvende object.

Het tweede orde effect wordt gecompenseerd door een ander principe wat te maken heeft met het metacentrum van drijvende objecten en de opwaartse kracht door de verplaatste hoeveelheid water. Er is namelijk een compenserende kracht nodig, die ervoor zorgt dat niet elk drijvend object kapseist bij iedere onbalans in gewicht. Dit principe wordt in de volgende sub paragraaf toegelicht.

Metacentrum drijvende objecten

Het tweede principe dat invloed heeft op de hellingshoek en stabiliteit van een drijvend object heeft te maken met het resulterende moment. Dit principe is ter sprake gekomen tijdens de ontwerpvergadering met een ingenieur van Damen Shipyards. Vervolgens is onderzocht wat dit betekent voor de drijvende boerderij. De relevante theorie staat in deze sub paragraaf uitgewerkt. De krachten die spelen bij dit principe zijn te vereenvoudigen naar twee krachten die gezamenlijk bepalen wat de evenwichtspositie gaat zijn bij het veranderen van de gewichtsverdeling. Om dit principe inzichtelijk te maken is een schets gemaakt van de uitgangssituatie waarin de gewichtsverdeling uniform is en het drijvende object dus geen hellingshoek heeft, zie Figuur 17.

De eerste kracht die werkt op een drijvend object is de zwaartekracht G , aangegeven met een blauwe pijl in alle figuren in deze paragraaf. Het aangrijpingspunt van de zwaartekracht is altijd in het zwaartepunt. De tweede kracht die werkt op een drijvend object is de opwaartse kracht van het water, aangegeven met een rode pijl in alle figuren van deze paragraaf. De opwaartse kracht die een in een vloeistof ondergedompeld object ondervindt, wordt beschreven door de Wet van Archimedes:

“Ieder voorwerp, geheel of gedeeltelijk ondergedompeld in een vloeistof, ondervindt een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.” (Wet Van Archimedes - Systeemmodelleren, z.d.)

De wet van Archimedes in andere woorden is dat er een opwaartse kracht werkt op objecten in vloeistoffen en de opwaartse kracht is even groot als het gewicht van de hoeveelheid vloeistof die het object wegdrukt door zijn gewicht. De formule die hierbij hoort:

$$F_a = \rho_f * V * g$$

Waarin:

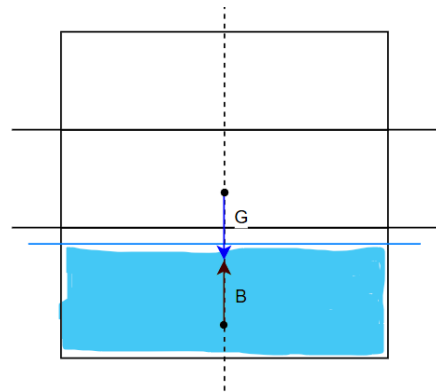
F_a : opwaartse kracht

ρ_f : dichtheid van de vloeistof

V : volume van de verplaatste vloeistof

g : gravitatieversnelling

Als voorbeeld ondervindt een volume van 1 Liter een opwaartse kracht van 10 Newton in water. Hiervoor wordt grof afgerond dat de dichtheid van water 1 kg/L is en dat de gravitatieversnelling 10 m/s is. Een vuistregel die hieruit volgt en veel gebruikt is in het verdere project is dat 1 kubieke meter een opwaartse kracht van 10.000 Newton heeft, ofwel een massa van 1000 kg.



Figuur 17: De krachten die op een drijvend object werken, opwaartse kracht B en zwaartekracht G

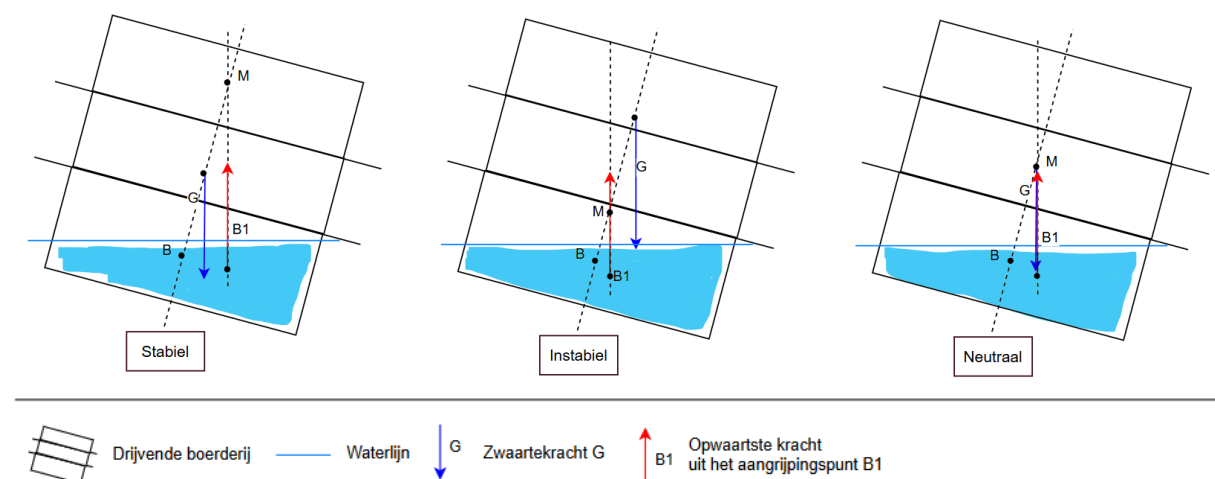
De theorie of een object blijft drijven of zinkt is ook gebaseerd op de Wet van Archimedes. Op basis van bovenstaand theorie kan gesteld worden dat een object blijft drijvend als de dichtheid van het object kleiner is dan de dichtheid van de vloeistof. Immers, de opwaartse kracht is dan groter of gelijk aan de zwaartekracht die op het object werkt.

Terugkomend op de twee krachten die werken op drijvende objecten, zijn dat in een evenwichtssituatie de zwaartekracht en de opwaartse kracht. Deze twee krachten zijn dan aan elkaar gelijk. Als de zwaartekracht groter zou zijn dan zou het object dieper komen te liggen of zinken. Als de opwaartse kracht van de vloeistof groter zou zijn dan zou het object verder omhoogkomen, totdat het volume van de verplaatste hoeveelheid water zoveel is afgenomen dat de opwaartse kracht en de zwaartekracht wel weer gelijk aan elkaar zijn. Bij elke verandering van de gewichtsverdeling van een drijvend object zal er een nieuw evenwicht bepaald worden. Dit evenwicht wordt bepaald de diepgang van het object. De diepgang van een drijvend object geeft aan hoe diep een object onderwater ligt.

Dieper ingaand op de stabiliteit van een drijvend object moet gekeken worden naar de combinatie tussen de hierboven beschreven principes. Uiteindelijk is stabiliteit een combinatie tussen het aangrijpingspunt en de werklijn van de zwaartekracht en opwaartse kracht. Het resulterende moment moet daarvan op nul uitkomen. In het geval dat de werklijn van de zwaartekracht en de opwaartse kracht beide parallel aan de symmetrische as van het object lopen én de aangrijpingspunten liggen verticaal op dezelfde lijn, dan is er sprake van een evenwichtspositie zonder hellingshoek, zie Figuur 18.

Echter is het niet altijd het geval dat dit precies zo is. Het object zal dan een nieuwe evenwichtspositie gaan opzoeken. Om te verklaren hoe dit werkt wordt er een nieuw begrip geïntroduceerd, het metacentrum.

Het metacentrum is het snijpunt tussen de werklijn van de opwaartse kracht en de symmetrische as van het object, zie Figuur 18. Het aangrijpingspunt van de opwaartse kracht ligt op de werklijn van de resulterende kracht van het volume dat de opwaartse kracht veroorzaakt.



Figuur 18: Schetsen die de metacentrum theorie ondersteunen

Door wisselingen in de belasting van drijvende objecten of door beweging van golfslag kan het voorkomen dat het object gaat schommelen. Het aangrijpingspunt van de opwaartse kracht verschuift, waardoor de werklijn van de kracht ook verschuift en daarmee ook het metacentrum. In Figuur 18 zijn drie mogelijke situaties geschetst die hierdoor kunnen ontstaan. Hierin zijn de zwaartekracht, in blauw, en de opwaartse kracht, in rood, aangegeven. Het oorspronkelijke aangrijpingspunt B van de opwaartse kracht is aangegeven, net zoals de werklijn van de opwaartse kracht.

In de linker situatie is het object naar rechts gekanteld. Hierdoor is het aangrijpingspunt van de opwaartse kracht naar rechts verschoven en liggen de werklijnen van de zwaartekracht en de opwaartse kracht dus niet meer over elkaar. Hierdoor is er een moment linksom ontstaan om het zwaartepunt heen. Hierdoor zal het object terugdraaien waardoor het moment steeds kleiner wordt door het korter worden van de arm. Het object blijft linksom draaien totdat een nieuwe evenwichtspositie is bereikt zoals in het rechter plaatje. Het object zal onder deze hellingshoek blijven liggen, doordat de werklijnen weer over elkaar liggen en daarmee ook het moment nul is.

Een belangrijke opmerking hierbij is dat het metacentrum hoger ligt dan het zwaartepunt. Als een object namelijk verder doordraait dan de hierboven beschreven situatie dan zal een groter wordend moment rechtsom ontstaan. Hierdoor komt het metacentrum lager te liggen dan het zwaartepunt. In dit geval zal het object juist rechtsom gaan draaien, waardoor het drijvende object zal kapseizen.

Hellingshoek met pendulum

Om het metacentrum van schepen te bepalen kan een hellingproef gedaan worden met een pendulum. Op basis van de uitslag van de pendulum bij een bepaald toegevoegd gewicht kan het metacentrum berekend worden. Echter is de uitvoering van deze proef om praktische redenen niet mogelijk. In Bijlage III: 'Hellingsproef voor schepen' staat een uitgebreide omschrijving van de proef, met een toelichting waarom de proef niet uitgevoerd kan worden.

Conclusie: Uit bovenstaande theorie is te concluderen dat de rekensheet die gemaakt is goed weergeeft wat de huidige gewichtsverdeling is van de drijvende boerderij, maar dat de link naar de hellingshoek waaronder de boerderij ligt lastiger te maken is. Deze conclusie is gebaseerd op het feit dat het laagste punt van de boerderijvloeren overeenkomt met het laagste punt in het rekenmodel. Het laagste punt van de boerderij is te zien vanaf de kade, zie Figuur 19. Dit is ook te bepalen op basis van de richting waar water op de vloer naartoe stroomt.



Figuur 19: De hellingshoek is te zien vanaf de kade

Fase 3 – Ontwerp

7. Conceptontwerpen

In de fase ontwerpen zal er naar concepten toegewerkt worden die de beschreven problemen zullen oplossen. De concepten zullen aansluiten op de ontwerpvisie, die als eerste beschreven staat in dit hoofdstuk. Daarna zal het ontwerpproces gesplitst worden in twee categorieën.

De eerste paragraaf bevat concepten die betrekking hebben op de bestaande boerderij in Rotterdam. Vervolgens worden er concepten worden beschreven voor toekomstige boerderijen. Deze splitsing is gemaakt omdat er bij het bouwen van nieuwe boerderijen meer ontwerpruimte is. Per categorie worden de concepten onderling vergeleken op basis van de succescriteria en volgt daaruit het beste concept. De gekozen concepten zullen vervolgens getoetst worden aan het programma van eisen. Het programma van eisen met de succescriteria staan beschreven in hoofdstuk 6 paragraaf 5 ‘Programma van eisen’.

7.1 Ontwerpvisie

Kernbegrippen die de ontwerpvisie vormen voor de ontwerpopdracht zijn:

- Doelgericht
- Eenvoud
- Robuust mechanisch ontwerpen op een duurzame manier.

De betekenis van de kernbegrippen zal worden toegelicht, waaruit de ontwerpvisie concreter wordt. Daarna zal de aansluiting van de ontwerpvisie bij de visie van het bedrijf worden toegelicht.

Doelgericht ontwerpen is het vervullen van de functies van een ontwerp op een efficiënte manier. Dit wordt gedaan door bij elke functie kritisch te kijken naar concepten die direct de functie vervult, zonder onnodig complexe systemen. Dit komt ook voort uit eenvoud in ontwerpen, waarbij altijd getracht wordt om concepten te vormen die zo min mogelijk onderdelen, beweging en elektronica nodig hebben. Al deze termen hebben vaak het resultaat van meer slijtage, onderhoud en storingen.

Robuust mechanisch ontwerpen draagt ook bij aan een langere levensduur van een ontwerp. Ook hierbij geldt dat fragile onderdelen en veel elektronica zoals sensoren en actuatoren voor falen en storingen leiden. Ter vervanging van de storings- en faalgevoelige onderdelen wordt er als inspiratiebron in het ontwerpen veel gekeken naar slimme mechanische oplossingen. Voorbeelden hierbij zijn gebruik van zwaartekracht, vierstangenmechanismen en principes uit de natuur.

Al deze punten samen vormen een duurzame ontwerpvisie, waarin gestreefd wordt naar ontwerpen die op een efficiënte en eenvoudige manier de functies vervullen en een zo lang mogelijke levensduur hebben

7.2 Ontwerpverbeteringen Floating Farm Rotterdam

In deze paragraaf wordt het ontwerpproces beschreven voor de concepten die de problemen op de bestaande boerderij moeten verhelpen. Deze drie problemen zijn het herstellen van de gewichtsbalans, het verschil in waterniveau van de vertical farm en de mestophoping in de koeienstal. Het ontwerpproces bestaat uit het beschrijven van de verschillende concepten en een conceptkeuze op basis van de succescriteria.

7.2.1 Concepten

Herstellen gewichtsbalans

Het herstellen van de gewichtsbalans zal de problemen die daardoor worden veroorzaakt direct oplossen en de kans op nieuwe problemen door de scheefligging zal veel minder zijn. Daarom is gekeken wat mogelijk is om de balans te herstellen. De mogelijkheden voor een actief balanceersysteem worden in een aparte paragraaf behandeld, zie hoofdstuk 7 paragraaf 3 ‘Concepten balanceersysteem’.

Voordat er bepaald gaat worden of er een dynamisch balanceersysteem gaat komen, zal de statische balans grotendeels hersteld moeten worden. Dit kan gedaan worden door kritisch naar het rekenmodel te kijken van de analyse van de huidige drijvende boerderij. Er is gekeken naar wat de grootste verstoringen zijn die in het rekenmodel naar voren komen. Vervolgens is gekeken naar wat er aan die verstoringen gedaan kan worden. Een van de ontwerpverbeteringen is een herindeling maken van de boerderij. Deze verbetering is erop gericht om het moment te verminderen dat door het gewicht wordt veroorzaakt. In onderstaande opsomming staat wat mogelijke maatregelen zijn, om de verstoring in balans te verminderen:

- De afstand tot de middellijn kan verminderd worden, waardoor het moment van een object minder wordt. Dit kan gedaan worden door een object naar het middelpunt te verplaatsen;
- De kracht kan verminderd worden ten gevolge van de zwaartekracht die op het object werkt. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de hoeveelheden die opgeslagen worden in silo's te verminderen. Een andere optie is het gehele object van de drijvende boerderij te verwijderen en op de kade te plaatsen;
- Een object kan ook als contragewicht gebruikt worden, door het object te verplaatsen naar de zijde van de boerderij die minder belast wordt. De maatregel heeft een groot effect op de verdeling, doordat de te zware kant lichter wordt maar de lichte kant juist weer zwaarder wordt.

Een andere optie om de balans in gewichtsverdeling te herstellen is het toevoegen van contragewicht of het creëren van meer drijfvermogen. Dit is hetzelfde principe als een actief balanceersysteem. Het verschil is dat contragewicht om de gewichtsverdeling te herstellen altijd dezelfde massa en positie heeft, maar bij een balanceersysteem kan de massa en positie verschillen. Voor het herstellen van de gewichtsbalans zijn er twee opties:

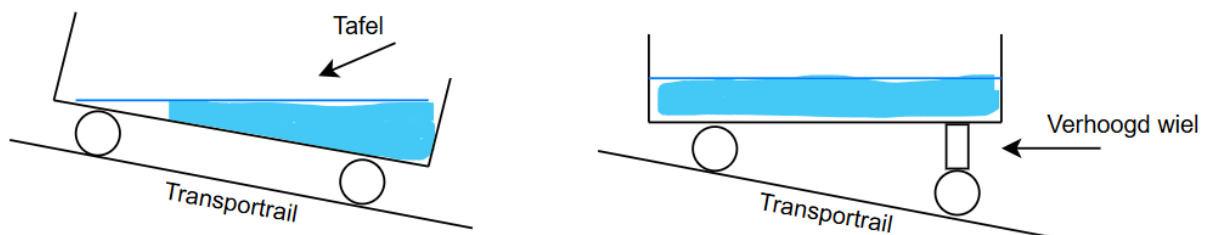
- Het toevoegen van contragewicht aan de lichte kant van de boerderij waardoor die zijde dieper komt te liggen. Dit zou water in tanks kunnen zijn, maar bijvoorbeeld ook een betonnen plaat onderwater aan de buitenkant van de boerderij. Het voordeel van beton is dat de dichtheid 2,5 keer hoger is dan de dichtheid van water, waardoor er voor dezelfde massa veel minder volume nodig is;
- Het creëren van extra drijfvermogen door luchttanks onderwater te plaatsen, aan de zijde die te zwaar is. Hierdoor ontstaat er een opwaartse kracht die de gewichtsverdeling kan compenseren.

Conclusie: Voor het herstellen van de statische balans zijn dus een aantal mogelijkheden. Toch zijn per probleem concepten gemaakt om deze specifieke problemen op te lossen. Dit is gedaan om te bepalen of de investering voor het herstellen van de gewichtsverdeling opweegt tegen de kleinere investeringen voor de oplossingen van de specifieke problemen. Per probleem staan hieronder de concepten uitgewerkt.

Waterniveau vertical farm

Horizontale tafels

Het eerste concept is erop gericht om de tafels met gewassen recht te zetten, ondanks dat de drijvende boerderij scheefligt. Uit metingen in de analyse fase is gebleken dat de hellingshoek redelijk constant is. Door deze hellingshoek te compenseren door de lage kant te verhogen, zijn de bodems van de tafels wel weer horizontaal en zal het water niet één kant op stromen. Als de tafels in het kweekstelsel zitten dan blijft één kant van de bak altijd de lage kant en de andere kant de hoge kant. De tafels draaien dus niet in richting en staan dus altijd ongeveer onder dezelfde hellingshoek. Door aan de lage kant de wielen onder de tafel wat te verhogen, wordt de tafel weer horizontaal gesteld. In Figuur 20 is deze ontwerpverbetering weergegeven. De linker schets is de huidige situatie en de rechter schets is de ontwerpverbetering.



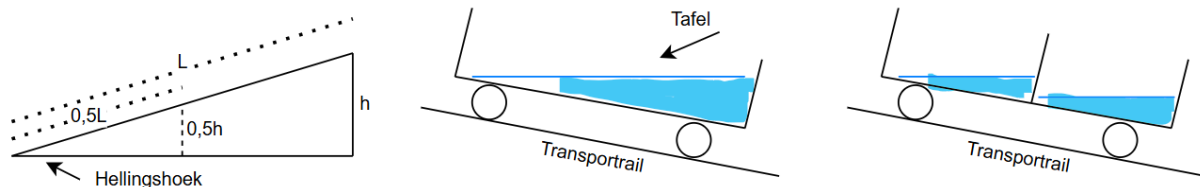
Figuur 20: Concept horizontale tafels

Capillaire watermatten

Om het waterpeil in op de tafels onder de trays gelijk verdeeld te houden zouden watermatten onder de tafels geplaatst kunnen worden. Deze watermatten hebben een capillaire werking, waardoor water tegen de zwaartekracht in omhoog verplaatst kunnen worden. Hierdoor is de gehele mat altijd vochtig en kunnen alle gewassen via gaatjes in de onderkant van de trays voldoende water op kunnen nemen.

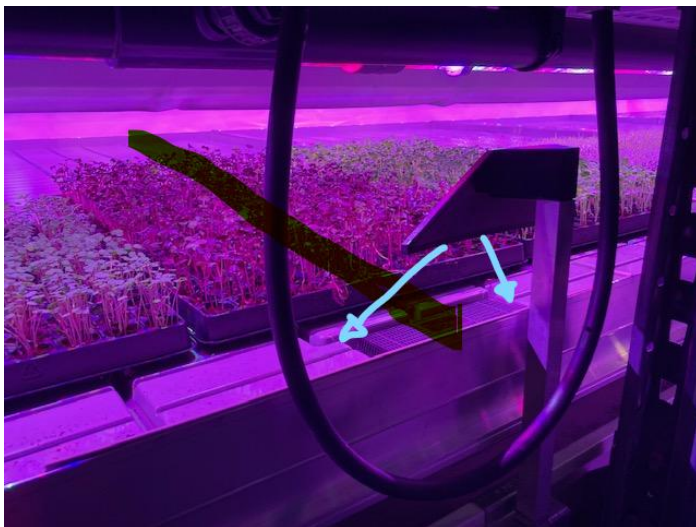
Tussenschotten in tafel

Als in een rechthoekige driehoek de hellingshoek gelijk blijft, maar de schuine zijde wordt korter dan wordt ook het hoogteverschil korter. Zie de linker afbeelding in Figuur 21 voor een schets. Dit principe is ook te gebruiken als oplossing voor een concept. Door de lengte van de tafel te verminderen en de hellingshoek gelijk te houden, dan wordt het hoogteverschil in het waterpeil verminderd. De lengte van de tafel is te verminderen door halverwege een schot te plaatsen. Hierdoor wordt het verschil in waterpeil ook gehalveerd. In Figuur 21 staat een schets van dit concept, waarin duidelijk wordt hoe dit concept werkt.



Figuur 21: Schetsen tussenschotten in tafel

In Figuur 22 staat een afbeelding van hoe het schot geplaatst zou kunnen worden in de tafels om het waterpeil verschil te verminderen. Door het schot in het midden tussen de gewassen te plaatsen kan het bewateringssysteem gebruikt worden. Ondanks dat de bak wordt opgedeeld door het tussenschot, krijgen beide zijdes wel dezelfde hoeveelheid water toegediend. Het water wordt toegediend via de zwarte trechter aan de zijkant van de bak.



Figuur 22: Het tussenschot en het watersysteem ingetekend in de huidige situatie

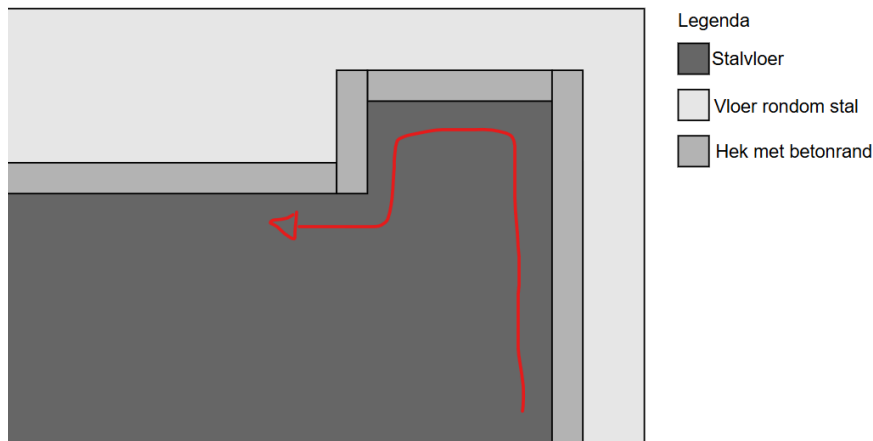
Eb- en vloedsysteem

Het verschil in vochtig verdeling over de tafel is ook te verhelpen door in korte de tafel vol te laten lopen met water en daarna weer helemaal leeg te laten lopen. In de korte tijd dat de tafel vol staat met water, kan de aarde in de trays water opnemen. Als de aarde na bepaalde tijd verzadigd is dan loopt de tafel weer leeg. Als de gewassen de opgenomen hoeveelheid water verbruikt hebben dan loopt de tafel weer vol. Doordat alle trays tegelijk veel water op kunnen nemen is het hoogteverschil in waterpeil geen probleem meer. Alle gaten in de onderkant van de trays zijn namelijk voorzien van water.

Mestophoping in koeienstal

Route aanpassing mestrobot

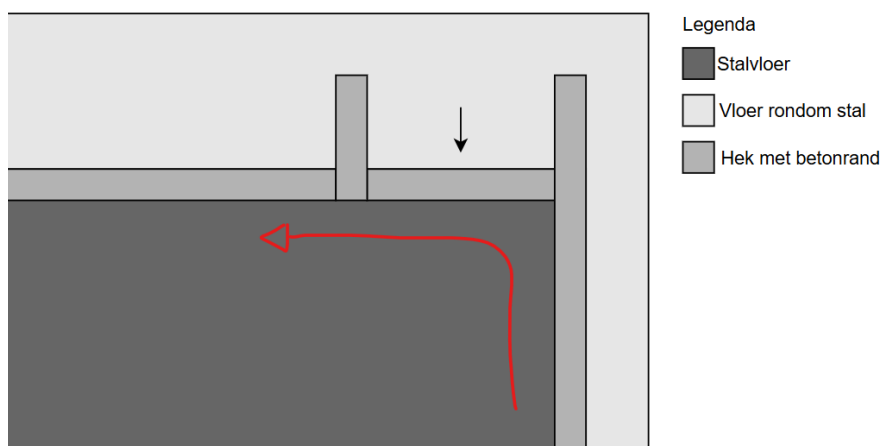
Door de route van de mestrobot anders te programmeren kan de mestrobot door de hoek heen rijden waar de mest ophoopt. Hierdoor kan het grootste deel van de ophoping alsnog worden opgezogen. De aangepaste route staat met een rode pijl aangegeven in Figuur 23. Als na deze aanpassing in de route nog steeds te veel mest ophoopt, is het ook een mogelijkheid om de mestrobot meerdere keren door de hoek te laten rijden.



Figuur 23: Bovenaanzicht koeienstal, met de nieuwe robot route in rood aangegeven

Verandering van stalindeling

Om de mestophoping te verminderen is er een aanpassing mogelijk aan de stalindeling. Door een deel van het hek te verplaatsen verdwijnt de hoek waar de mest ophoopt en daardoor veel beter toegankelijk is voor de mestrobot. In Figuur 24 is het verplaatste hekwerk aangegeven met een zwarte pijl. De rode pijl geeft de route aan die de mestrobot rijdt bij deze aanpassing.



Figuur 24: Bovenaanzicht koeienstal, met het verschoven hek (zwarte pijl) en in het rood de robot route

7.2.2 Conceptkeuze

Herstellen van gewichtsverdeling

Voor het herstellen van de gewichtsverdeling zijn drie mogelijkheden als ontwerpverbetering onderzocht. De indeling op de boerderij kan gedeeltelijk veranderd worden, contragewicht kan toegevoegd worden of er kan extra drijfvermogen gecreëerd worden door luchttanks onderwater te bevestigen. Op basis van de succescriteria is er een advies opgesteld om de gewichtsverdeling te herstellen en daarmee de scheefligging van de boerderij te verminderen. Iedere ontwerpverbetering is beoordeeld op de succescriteria, aan de hand van een score van 1 tot 5 punten. Hoe hoger het aantal punten hoe beter een ontwerp op die criteria scoort. De scores per succescriteria staan in Tabel 8. De succescriteria en ontwerpverbeteringen staan bondig omschreven in de tabel om het overzichtelijk te maken, maar staan in hoofdstuk 6 paragraaf 5.2 'Succescriteria' volledig beschreven.

Tabel 8: Gewogen criteriatabel gewichtsverdeling, per concept de score met daarnaast de gewogen score dikgedrukt weergegeven

Succescriteria	Weging	Herindeling	Contragewicht beton		Contragewicht water		Luchttanks	
Eenvoudige realisatie	1	2	2	2	4	4	2	2
Lage kosten	2	3	6	3	4	8	2	4
Toekomstbestendig	2	3	6	3	5	10	3	6
Robuust	2	4	8	4	3	6	3	6
Betrouwbaar	3	4	12	3	3	9	1	3
TOTAAL SCORE		34		31		37		21

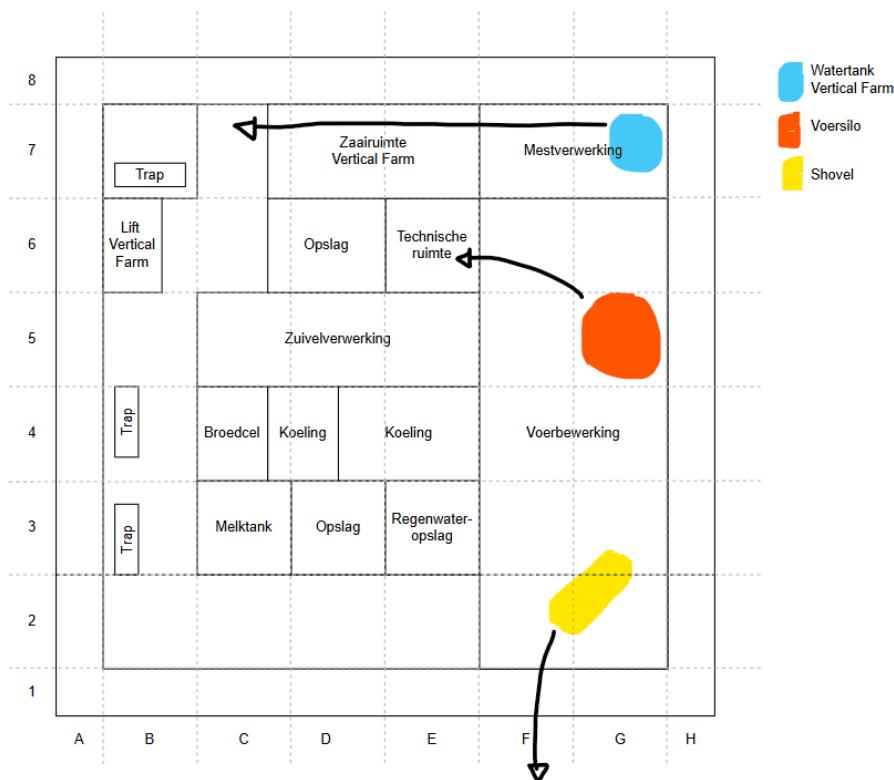
Opvallende scores uit de criteriatabel zullen worden toegelicht. Het criteria betrouwbaar heeft grote verschillen in scores. Het concept herindeling heeft hierop de hoogste score gekregen. Bij dit concept kunnen zeer weinig onderdelen falen, want aan de werking van de verplaatste onderdelen veranderd niks. Luchttanks scoren zeer laag op betrouwbaarheid, doordat het systeem zeer gevoelig is voor lekkages. Bij een lekkage heeft dit grote gevolgen voor de balans van de boerderij. Ook is een lekkage lastig te op te sporen en te repareren doordat de tanks buiten de boerderij onderwater geplaatst worden. Daarnaast is het opvallend dat het concept van water als contragewicht een score van 5 heeft op toekomstbestendigheid. Het is zeer eenvoudig om meer of minder water ergens te plaatsen als de balans opnieuw te herstellen

Op basis van de totaalscores op de succescriteria, is het herstellen van de gewichtsbalans met water in tanks de beste ontwerpverbetering. Dit komt ook overeen met wat er op dit moment aan het probleem gedaan wordt. Op de drijvende boerderij staan bakken met water om de balans enigszins te herstellen. Het is een oplossing die eenvoudig te implementeren is, maar ook gemakkelijk aangepast zou kunnen worden in de toekomst. Er hoeft alleen water toegevoegd of weggehaald moeten worden in een IBC, om de balans weer te herstellen.

Echter moet er bij het toevoegen van nog meer contragewicht eerste gekeken worden of de constructie van de boerderij dit aankan. Hierover is contact geweest met de constructeur en is het zeer de vraag of het mogelijk is om nog meer gewicht toe te voegen. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat er niet onbeperkt gewicht kan worden toegevoegd, omdat er een punt is waarop de boerderij te zwaar wordt en zal zinken.

Met deze redenen is onderzocht wat er mogelijk is als herindeling. Voor de herindeling is er in het rekenmodel geanalyseerd hoe de balans zoveel mogelijk hersteld kan worden, met zo min mogelijk kosten en arbeidsuren voor de herinstallatie. In Tabel 4 van hoofdstuk 6 paragraaf 6.1 'Analyse huidige gewichtsverdeling' is geanalyseerd wat de tien raster vakken zijn die de grootste bijdrage leveren aan het resulterende moment. Belastingen uit deze tabel met een variërend gewicht, verstoren naast de grote bijdragen in het statische evenwicht, ook nog de dynamische balans.

Hieruit is de conclusie dat het verplaatsen van de watertank van de vertical farm, de voersilo en de shovel de beste mogelijkheden zijn, omdat dit effect heeft op het statisch en dynamisch evenwicht. In Figuur 25 is opnieuw de plattegrond van de begane grond weergegeven met de huidige posities van de objecten en waar deze naar toe verplaatst kunnen worden.



Figuur 25: Plattegrond van de begane grond, het raster is gemaakt met stippellijnen. De veranderingen in indeling zijn aangegeven

Het verplaatsen van de watertank naar de andere zijde van de boerderij heeft een groot effect op de balans. Door het weghalen van de tank aan de zijde die te zwaar is en de tank te plaatsen aan de zijde die te licht is, is het effect op het resulterende moment dubbel zo groot. Dit is een eenvoudige aanpassing want er hoeft alleen een waterleiding verlegd te worden naar de tank.

De voersilo verplaatsen in de richting van het middelpunt is ook een aanpassing met veel effect, door de enorme massa van de silo. Door de afstand tot het middelpunt zal het resulterende moment verminderd worden. Deze aanpassing is minder eenvoudig doordat de grote silo verplaatst moet worden binnen de boerderij. Ook moeten andere apparaten verplaatst worden uit de technische ruimte om plaats te maken voor de silo. Het verplaatsen van de apparaten levert installatie werk op, maar het positieve effect op de gewichtsverdeling weegt hier wel tegenop.

Een andere eenvoudige aanpassing is de shovel te plaatsen op de kade als deze niet gebruikt wordt. Alleen als de shovel nodig is op de boerderij kan deze dan via de brug de boerderij opgereden worden.

Het effect van de herindeling op de totale gewichtsverdeling is te berekenen met het rekenmodel voor de gewichtsverdeling. In Tabel 9 is het effect per verplaatst object weergegeven. Het 'percentage totaalgewicht' is het gewicht van de belasting als percentage van het totale gewicht van de inrichting. Het 'percentage besparing' geeft weer wat de gewichtsbesparing is van de belasting als percentage van het totale gewicht van de inrichting. In de onderste rij zijn de besparingspercentages bij elkaar opgeteld, om weer te geven wat het effect van de herindeling is op de totale verdeling.

Tabel 9: Effect herindeling in percentages

Belasting	Percentage totaalgewicht	Percentage besparing
Krachtvoersilo koeien	9,9	9,9 *
Shovel	5,6	5,6 **
Watertank vertical farm	5,2	2x 5,2 ***
Totaal effect		35,8

* De voersilo wordt op de centrale as geplaatst, waardoor er geen moment wordt veroorzaakt door deze belasting

** De shovel wordt op de kade geplaatst, waardoor de belasting er niet meer is en dus geen moment meer veroorzaakt

*** De watertank wordt verplaatst naar de andere zijde van de ruimte van de vertical farm, hierdoor zal het moment de andere kant opwerken. Daardoor is het effect twee keer zo groot.

Echter moet er voor deze aanpassingen aanzienlijk meer worden geïnvesteerd dan voor de concepten die gemaakt zijn voor de twee specifieke problemen. De kosten, het aantal arbeidsuren en het uitwerken van de voorbereiding van de herindeling zijn aanzienlijk arbeidsintensiever. Met deze reden wordt er wel nog een conceptaanpassing voorgesteld voor de twee specifieke problemen.

Bewatering vertical farm

Voor een gelijkmatige verdeling van het water op de tafels van de vertical farm moet er een aanpassing gedaan worden in het systeem. Er zijn een aantal ontwerpaanpassingen mogelijk die beoordeeld gaan worden op basis van de succescriteria. De gewogen criteriatabel staat in Tabel 10. Per succescriteria krijgt ieder concept een score van één tot 5 punten, waarbij vijf punten de beste score is. Deze score wordt vermenigvuldigd met de wegingsfactor. De score staat in de eerste kolom onder het concept en de gewogen score in de tweede kolom onder het concept. Uiteindelijk worden alle gewogen scores bij elkaar opgeteld en is er een vergelijking mogelijk tussen de concepten.

Tabel 10: Gewogen criteriatabel conceptverbetering bewatering vertical farm, per concept de score met daarnaast de gewogen score dikgedrukt weergegeven

Succescriteria (weging)	Weging	Horizontale tafels		Capillaire watermatten		Tussenschot in tafel		Eb- en vloedsysteem	
Bruikbaarheid bewaterings-systeem	3	5	15	2	6	4	12	1	3
Gelijkmatigheid waterniveau	3	4	12	5	3	4	12	2	6
Eenvoud implementatie	2	3	6	5	10	4	8	2	4
Behoudt teelhoogte	1	3	3	4	4	5	5	5	5
Lengte levensduur	2	5	10	2	4	5	10	5	10
Tijdsbesparing teler	2	5	10	2	4	5	10	3	6
Professionele uitstraling	1	4	4	4	4	3	3	3	3
TOTAAL SCORE		60		35		60		37	

Bij het zwaarwegende criteria ‘bruikbaarheid bewateringssysteem’ zijn grote verschillen in scores. Het concept ‘horizontale tafels’, waarbij de wielen van de tafel aan één zijde verhoogt worden, scoort hierop hoog. Deze aanpassing zorgt ervoor dat het bewateringssysteem wel weer volledig te gebruiken is, zonder aanpassing aan dat systeem. Het eb- en vloedsysteem, waarbij in korte tijd de tafels vol- en leeglopen met water, is niet te gebruiken in combinatie met het huidige bewateringssysteem. Er zijn aanpassingen nodig aan de tanks, leidingen, tafels en het besturingssysteem.

De concepten ‘horizontale tafels’ en ‘tussenschot in tafel’ hebben dezelfde gewogen totaalscore. Kijkend naar de twee belangrijkste criteria scoort het tussenschot lager op de bruikbaarheid van het bewateringssysteem. Dit komt doordat niet bekend is hoe gelijkmatig de verdeling is uit de watertrechter waarmee de tafels gevuld worden. Dit kan met een eenvoudige test bepaald worden, maar deze test kon niet uitgevoerd worden door andere technische problemen aan het systeem.

Het tussenschot is eenvoudiger te implementeren in het huidige systeem dan de verhoogde tafels. Als het testresultaat van de test voor de gelijkmatige verdeling van het water uit de trechter goed is, is het beste om het concept met het tussenschot te implementeren. Bij een matig resultaat is het beter om de tafels te verhogen en de bodems daardoor weer horizontaal staan.

Mestophoping koeienstal

De mestophoping in de koeienstal moet opgelost worden door de stal beter begaanbaar te maken voor de mestrobot. Hiervoor is van belang dat de rubberen vloertegels vlak zijn en dat er zo min mogelijk scherpe hoeken, hoeken van minder dan 90 graden, in de stalindeling zitten. Het aanpassen van de route van de mestrobot is een ontwerp-aanpassing die heel eenvoudig te realiseren is. Om te achterhalen of deze aanpassing het probleem op zal lossen is de route van de robot aangepast naar de beschreven route. De mestophoping werd hierdoor aanzienlijk minder, maar nog niet voldoende. Dit komt met name door de scherpe hoeken nog steeds moeilijk te bereiken zijn voor de mestrobot. Daarom wordt er geadviseerd om de stalindeling toch te veranderen door het hek met de betonnen onderrand te verplaatsen. Uiteindelijk wordt er dus geadviseerd om beide ontwerpverbeteringsvoorstellen uit te voeren.

Met de aanpassing in stalindeling verdwijnen twee scherpe hoeken. De staloppervlakte zal daardoor wel met ongeveer twee vierkante meter afnemen. Echter kan deze ruimte nu ook niet gebruikt worden door de koeien omdat de voerband hier overheen loopt. In de praktijk zal het oppervlak dus niet verminderd worden.

7.3 Concepten balanceersysteem

In deze paragraaf worden ontwerpverbeteringen en concepten uitgewerkt die voorkomen dat de problemen op de bestaande boerderij niet ook ontstaan op toekomstige boerderijen. Er zijn een aantal aandachtspunten bij het indelen van boerderijen en er wordt een balanceersysteem ontworpen. Er worden concepten gepresenteerd voor het balanceersysteem en er wordt een keuze gemaakt uit deze concepten op basis van de succescriteria.

7.3.1 Concepten

De concepten die gemaakt zijn voor een dynamisch balanceersysteem zijn ontworpen voor toekomstige boerderijen. Als in deze ontwerpen het onmogelijk is om de variatie in gewichtsverdeling voldoende te beperken, dan zou gekozen kunnen worden voor een balanceersysteem die de boerderij actief balanceert. Op deze manier zou de hellingshoek van de boerderij ten opzichte van het water binnen de gestelde marges blijven.

Er zijn een aantal ontwerpvoorstellen mogelijk bij het ontwerpen van toekomstige boerderijen, die het effect van variërende gewichten zullen verminderen. Variërende gewichten zijn bijvoorbeeld opslag van productiematerialen, tanks of silo's en dieren. De ontwerpvoorstellen om verstoringen in de gewichtsbalans te verminderen worden opgesomd:

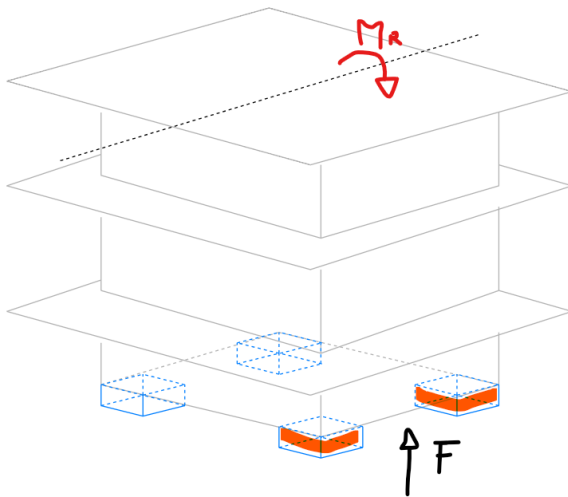
- Door het plaatsen van variërende gewichten in het middelpunt van een drijvend object, is de verandering in resulterend moment bij verandering van gewicht zeer beperkt. Dit komt doordat de afstand tot het middelpunt kleiner is, daarmee ook de arm van het moment, waardoor het momentverschil ook kleiner is. Dit levert dus een kleinere verandering in resulterend moment op, wat weer een kleiner effect heeft op de totale verdeling;
- Het beperken van de grootte van het variërende gewicht zorgt ervoor dat het resulterende moment ook minder varieert. Dezelfde redenatie als bij het vorige voorstel van de locatie van de variërende gewichten, is hier van toepassing. De grootte van het gewicht zou beperkt kunnen worden door kritisch te analyseren wat er echt nodig is aan opgeslagen hoeveelheden. Hoe minder gewicht er varieert, hoe minder verstoring er is;
- Een continu gelijke verdeling van dieren over het staloppervlak zorgt ook voor minder variatie in gewichtsverdeling. Door te voorkomen dat het nodig is dat alle dieren tegelijk in een deel van de stal moeten zijn, is de continuïteit van een gelijke verdeling beter. Bijvoorbeeld bij het voeren van dieren, komen alle dieren tegelijk naar hetzelfde gedeelte van de stal waar gevoerd wordt. Door op verschillende locaties in de stal te voeren, zal de verdeling constanter blijven.

Ondanks de ontwerpvoorstellen om de variatie in verdeling te verminderen kan het nodig zijn om een balanceersysteem te ontwerpen. Hieronder worden een aantal concepten gepresenteerd die de verstoringen in gewichtsverdeling zouden kunnen compenseren.

Ieder concept heeft een regelsysteem nodig dat kan berekenen wat de benodigde correctie is bij iedere verstoring. Het regelsysteem heeft een input nodig zodat de verstoring gedetecteerd kan worden en de grootte daarvan gemeten. Dit zou kunnen door digitale sensoren te gebruiken zoals een gyroscoop of clinometer. Een gyroscoop kan verdraaiingen registreren, terwijl een clinometer de veranderingen ten opzichte van het horizontale vlak registreert. Op basis van deze input moet het systeem de benodigde correctie kunnen berekenen. Dit kan gedaan worden doordat er bekend is wat de correctiegrootte is per hoeveelheid in ieder concept.

Luchttanks

Een verandering in resulterend moment kan gecompenseerd worden door een tegenwerkende kracht te genereren met behulp van tanks die gevuld kunnen worden met lucht. Een luchtbel onderwater heeft namelijk een opwaartse kracht. Deze kracht kan het resulterende moment kunnen compenseren totdat het drijvende object weer terug is binnen de gestelde marges voor de hellingshoek. In Figuur 26 is een schets gemaakt om dit principe weer te geven. In rood is het resulterende moment weergegeven. De tanks in oranje gearceerd zijn gevuld met lucht waardoor de opwaartse kracht F ontstaat en het resulterende moment compenseert.



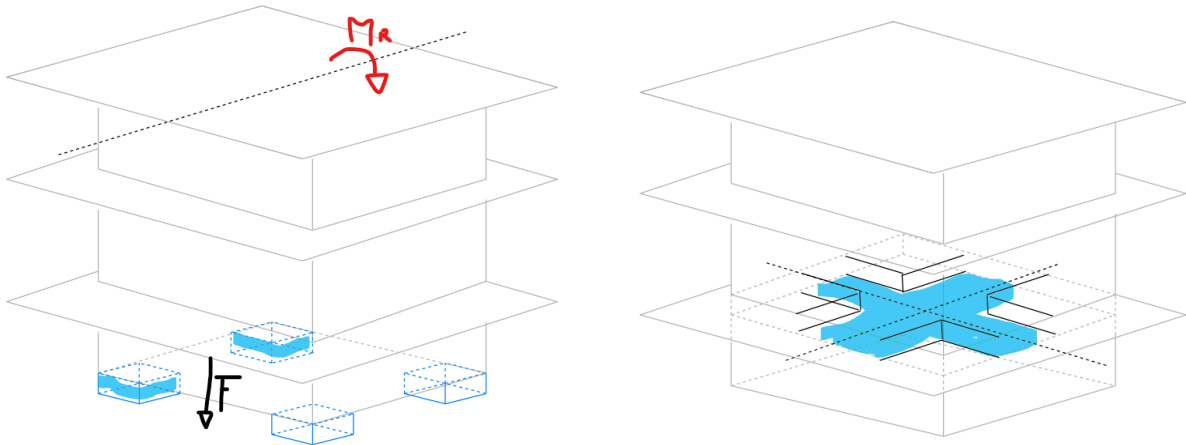
Figuur 26: Schets balanceersysteem luchttanks

Als op ieder hoekpunt van het drijvende object een luchttank wordt geplaatst, kan het vullen van de tanks met lucht met een regelsysteem gestuurd worden. Met dit systeem is er voor elke verstoring in verdeling een correctie mogelijk. Als de tanks niet gevuld zijn met lucht, dan moet het volume van de tank dus kleiner worden of de tanks moeten gevuld worden met een zwaardere materie dan lucht. Anders wordt de opwaartse kracht niet kleiner.

Het concept met luchttanks wordt al gebruikt in andere toepassingen voor het corrigeren van de gewichtsverdeling. De meeste toepassingen zijn om een statisch balansverschil te compenseren, zoals woonboten die scheefliggen.

Watertanks

Het balanceersysteem met watertanks is ook gericht op het compenseren van het resulterende moment net zoals de lucht tanks. Het verschil is dat watertanks een neerwaartse kracht hebben in plaats van een opwaartse kracht zoals watertanks. In de linker afbeelding van Figuur 27 is een schets gemaakt van de krachtenbalans bij het balanceren met dit systeem.



Figuur 27: Schetsen balanceersysteem water ballasttanks. Links: ballasttanks op de hoekpunten. Rechts: Wateropslag in de assen en balanceertanks in de hoeken.

De meest efficiënte plaatsing van de watertanks is op de hoekpunten van het drijvende object. Op de hoek punten is de arm het grootste en daarmee ook het moment door het water als ballast. Het is ook mogelijk om het ballastwater te gebruiken voor andere doeleinden binnen de boerderij. Voor veel verschillende processen is water nodig. Het ballastwater zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden als koelwater voor koelingen, extra isolatie laag tegen warmte van buitenaf of regenwater opslag.

Voor deze processen is vaak wel een voorraad aan water nodig, omdat de processen continu in bedrijf zijn. Hier kan slim gebruik van gemaakt kunnen worden door rond het middelpunt een wateropslag te hebben, maar deze opslag is te verpompen naar tanks op de hoekpunten. Een schets van dit concept staat in Figuur 27, de rechter afbeelding. Door het verpompen van het water naar tanks buiten het middelpunt, kunnen de verstoringen in gewichtsbalans wel gecorrigeerd worden.

Het concept met watertanks als balanceersysteem wordt al toegepast voor het balanceren van drijvende objecten. Bijna alle grote zeeschepen en transport schepen zijn voorzien van zo'n systeem in de wand van het schip. Met behulp van watertanks wordt het schip gebalanceerd bij ongelijk verdeelde lading of wordt de diepgang geregeld.

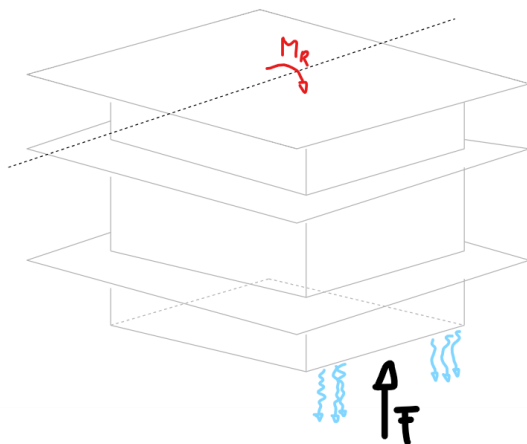
Opmerking water- en luchttanks

Bij de concepten van water- en luchttanks als balanceersysteem is er een praktische opmerking, waardoor de concepten in bepaalde situatie hetzelfde werken. Als er gebruik wordt gemaakt van vormvaste tanks dan zal de tank altijd met iets gevuld moeten zijn. De tanks moeten leeg kunnen lopen als er minder contragewicht nodig is. Het meest praktische is om een watertank dan deels te vullen met lucht, of een luchttank deels te vullen met water. Er zouden ook tanks gebruikt kunnen worden die flexibel zijn in vorm en dus flexibel in volume. Maar vormvaste tanks zijn beter om te gebruiken dan flexibele tanks die in volume kunnen veranderen, omdat flexibele tanks veel gevoeliger zijn voor lekkages. Lekkages vormen een risico voor grote plotselinge veranderingen in de gewichtsbalans.

Het principe waar beide concepten op gebaseerd zijn, is de Wet van Archimedes. Zie paragraaf 2.6.3 'Complexiteit bij de validatie' voor een toelichting over dit principe onder het kopje 'metacentrum drijvende objecten'. Het gaat bij deze concepten erom dat er meer drijfvermogen wordt gecreëerd door het onderwater volume van de boerderij te kunnen veranderen. Door water uit een tank te halen en lucht erin te laten lopen wordt het volume onderwater en daarmee de opwaartse kracht groter. Hiermee kan de boerderij gebalanceerd worden.

Waterstralen

Een andere methode voor het creëren van een compenserende opwaartse kracht is een stuwkracht door waterstralen. Door vanaf de onderkant van een drijvend object een waterstaal naar beneden te richten met een jet, ontstaat er een kracht omhoog doordat de staal het object omhoog drukt. Dit systeem kan zeer snel reageren op veranderingen in de gewichtsbalans. Het systeem wordt bijvoorbeeld gebruikt op schepen waarop grote kranen staan die continu de gewichtsbalans verstoren door het hijsen van ladingen. Hierbij is het nodig dat er snel grote correcties mogelijk zijn om te voorkomen dat het schip kapseist. In Figuur 28 staat een schets van een mogelijke implementatie van het systeem met waterstralen.

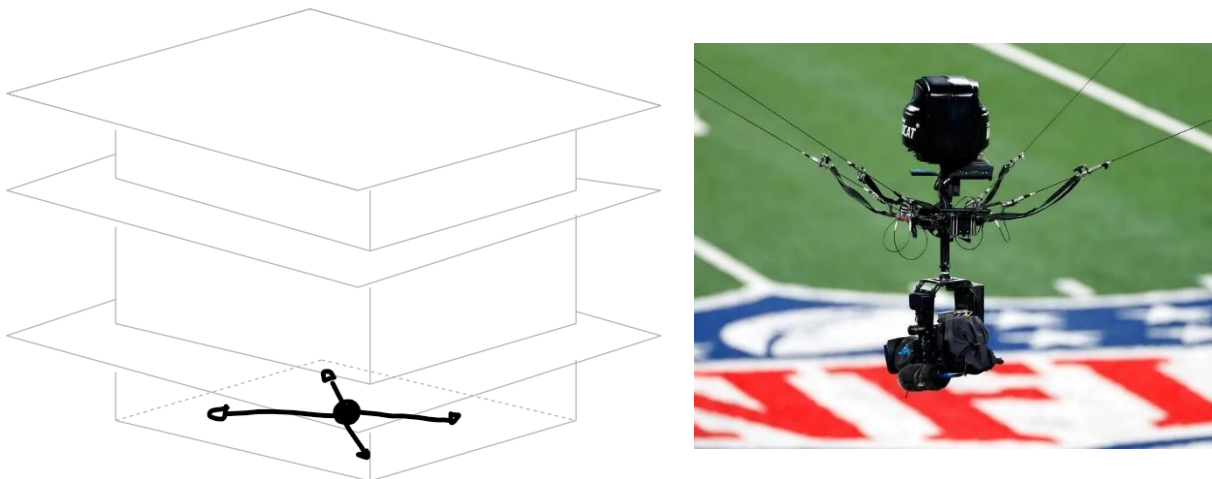


Figuur 28: Schets balanceersysteem waterstralen

Bewegende contragewichten

Het balanceren van een drijvend object is ook mogelijk door een gewicht te verplaatsen door het object heen. Dit bewegende gewicht dient als contragewicht om het resulterende moment te compenseren, op dezelfde manier als bijvoorbeeld watertanks. Bij de drijvende boerderij zou het contragewicht bijvoorbeeld onder de drijfbakken geplaatst kunnen worden. In Figuur 29 staat een schets van dit concept in de linker afbeelding. Dit concept is gebaseerd op stadioncamera's die aan vier draden hangen en met die draden gestuurd kunnen worden naar andere posities en hoogtes. Voor het balanceersysteem is de variatie in hoogte niet nodig, omdat dit geen effect heeft op de gewichtsverdeling. Wel kan een gewicht verplaatst worden met behulp van kabels, om op de juiste locatie te corrigeren.

In de rechter afbeelding van Figuur 29 staat een voorbeeld van het camerasysteem. Als er geen verstoring in gewichtsbalans is, wordt het contragewicht in het middelpunt van de boerderij geplaatst. Hier veroorzaakt het gewicht dan geen corrigerend moment. Als er wel een verstoring optreedt, kan de balans worden hersteld door het contragewicht uit het middelpunt te verplaatsen. Hoe verder het gewicht uit het middelpunt komt, hoe groter het corrigerende moment wordt.



Figuur 29: Balanceersysteem bewegend contragewicht. Links: Schets van gewicht onderin boerderij dat kan verplaatsen. Rechts: Afbeelding stadion camera waar concept op gebaseerd is (Lukas, 2025)

In plaats van een contragewicht zou bijvoorbeeld ook een luchtbel onder de drijvende boerderij verplaatst kunnen worden. Deze luchtbel veroorzaakt een opwaartse kracht en drukt daarmee de boerderij naar boven, in plaats van dat een contragewicht de boerderij verder naar beneden drukt.

7.3.2 Conceptkeuze

Uit de concepten voor een balanceersysteem voor drijvende boerderijen wordt een keuze gemaakt wat het beste systeem is. Deze keuze wordt gemaakt met behulp van een gewogen criteriatabel, waarin alle concepten onderling worden vergeleken op basis van de succescriteria. Ieder concept krijgt een score van 1 tot 5 punten, die vermenigvuldigd wordt met de weging. De totaalscore geeft aan hoe goed het concept is, gekeken over alle criteria. De scores zullen worden toegelicht, even als de keuze voor het beste concept. In Tabel 11 is de gewogen criteriatabel weergegeven.

Tabel 11: Gewogen criteriatabel concepten balanceersysteem, per concept de score met daarnaast de gewogen score dikgedrukt weergegeven

Criteria	Weging	Luchttanks	Watertanks	Waterjets	Bewegend gewicht				
Het balanceersysteem houdt de hellingshoek zo veel mogelijk binnen de gestelde marges voor de hellingshoek	3	4	12	4	12	5	15	5	15
De tijd dat de boerderij onder een hellingshoek ligt, groter dan de gestelde marges, is zo kort mogelijk	2	3	6	3	6	5	10	4	8
Het systeem heeft zo min mogelijk storingen	2	3	6	4	8	1	2	1	2
De kans op falen van het systeem is zo klein mogelijk	3	3	9	5	15	2	6	1	3
TOTAAL SCORE		33	41	33	28				

De opvallende scores uit de tabel zullen worden behandeld. De scores voor het balanceren binnen de gestelde marges van de hellingshoek is voor alle concepten hoog. Alle concepten zijn dus goed in staat om de belangrijkste functie te vervullen. Het criterium voor de reactietijd is wel verschillend beoordeeld. Dit komt doordat de tijd die benodigd is voor het aanpassen van de correctie verschillend is. De kracht van een waterjet is direct aan te passen, maar het vullen van een water- of luchttank kost tijd. Opvallend is dat de concepten met een korte reactietijd, wel veel gevoeliger zijn voor falen en storingen. De oorzaak hiervan is dat de systemen van de concepten met een snelle reactie veel complexer zijn.

De hoogste gewogen score van de concepten is voor de watertanks als balanceersysteem. De grootte en snelheid van reageren is voldoende en het systeem heeft een kleine kans om falen en storingen. Met het opslaan van water in tanks zijn er weinig risico's en is de kans dat dit risico zich voordoet klein. Een regelsysteem bestaande uit een pomp en meetsysteem is eenvoudig te onderhouden en is niet gevoelig voor storing. Dit maakt dat het een betrouwbaar, eenvoudig en geschikt systeem is.

De concepten zijn ook besproken met twee partnerbedrijven van Floating Farm. Aan hen is ook gevraagd welke concepten kansrijk zijn en op basis van hun ervaring in de praktijk toepasbaar is. Zie voor een notulen van deze gesprekken Bijlage II. Uit beide gesprekken kwam naar voren dat watertanks veruit het meest gebruikt worden in de praktijk, op bijna alle soorten schepen die er zijn. Dit komt dus overeen met de beoordeling van de concepten eerder in deze paragraaf.

7.4 Verantwoording conceptkeuze

Gedurende het gehele ontwerpproces moeten concepten regelmatig worden getoetst aan het programma van eisen. Een concept kan immers alleen leiden tot een geschikt ontwerp als het voldoet aan alle eisen. Echter is het in dit vroege stadium van het ontwerpproces niet mogelijk om de gekozen concepten te toetsen aan het volledige programma van eisen. Dit komt doordat er nog veel ontwerpruimte is binnen het huidige detailniveau. Zo zijn er bijvoorbeeld nog geen specificaties bekend van de systemen die benodigd zijn.

De conceptkeuzes zijn gemaakt op basis van de succescriteria uit het programma van eisen. Succescriteria zijn grotendeels gebaseerd op de ontwerpcriteria, maar anders geformuleerd zodat er een score gegeven kan worden om een vergelijking te kunnen maken. Op deze manier kan er dus wel gesteld worden dat de concepten indirect getoetst zijn aan het programma van eisen.

7.5 Ontwerpconclusie

Uit het ontwerpproces is voor ieder probleem een ontwerpverbetering voorgesteld. In deze paragraaf zal geconcludeerd worden wat er op dit moment en in de toekomst gedaan kan worden om de problemen door de scheefligging van de drijvende boerderij op te lossen. Voor een uitgebreidere omschrijving van de werking van concepten en de onderbouwing van keuzes wordt verwezen naar de eerdere paragrafen in Hoofdstuk 7.

De gewichtsverdeling van de boerderij in Rotterdam kan hersteld worden door een aantal aanpassingen te doen in de gewichtsverdeling. Het verplaatsen van de watertank van de vertical farm en de voersilo zal veel effect hebben. Ook de shovel kan geplaatst worden op de kade wanneer deze niet gebruikt wordt, waardoor de tijdsduur van deze verstoring aanzienlijk beperkt wordt. Het percentage van het verplaatste gewicht bij de herindeling ten opzichte van het totale gewicht van de inrichting is 35,8%.

Het verplaatsen van deze tanks is een flinke investering in vergelijking met twee eenvoudige ontwerpaanpassingen die gedaan kunnen worden om de problemen op te lossen. Daarom moet er overwogen worden of de investering voor het herstellen van de gewichtsbalans opweegt tegen de eenvoudige aanpassingen om de twee specifieke problemen op te lossen.

De gelijkmatigheid van bewatering van de gewassen in de vertical farm kan waarschijnlijk het beste worden aangepast door het plaatsen van een tussenschot in iedere tafel. Om de werking van het proof of concept te valideren, is een test die gedaan kan worden. Hiervoor moeten wel eerst een aantal andere technische problemen worden opgelost, die niet veroorzaakt worden door de scheefligging van de boerderij. Als uit deze test blijkt dat de waterverdeling onvoldoende blijft, kan de tafel recht gesteld worden door aan één zijde de wielen te verhogen. Dit is de tweede optie, omdat het meer arbeidsuren kost en grotere kosten met zich meebrengt.

De mestophoping in de stal kan het beste worden voorkomen door een deel van het hekwerk te verplaatsen, waardoor er twee scherpe hoeken minder in de stalindeling zitten. Dit blijft wel het laagste punt waardoor een deel van de mest nog steeds richting die hoek stroomt. Maar door deze aanpassing is deze mestophoping wel te verwerken door de mestrobot.

Voor toekomstige boerderijen zijn er twee adviezen voor de statische en dynamische balans. Om de boerderij statisch in balans te houden is een gelijkmatige verdeling van het gewicht nodig. De gewichtsverdeling kan berekend worden met behulp van rekenprogramma's, bijvoorbeeld met het rekenmodel dat opgesteld is in de analyse fase. Echter is het praktisch onmogelijk om geen

verstoringen in de balans te hebben, doordat er altijd een variërende hoeveelheid wordt opgeslagen. Denk aan voersilo's, regenwater opslag, andere tanks en productiematerialen waarvan een wisselende voorraad is. Het versturende effect hiervan kan wel sterk beperkt worden door de tanks en opslag in het midden van de boerderij te plaatsen. Het moment van deze gewichten is dan in veel mindere maten wisselend.

Als het slim indelen van de boerderij niet ervoor zorgt dat de scheefligging binnen de gestelde marges blijft, is er een actief balanceersysteem nodig. Het kan ook mogelijk zijn dat er andere factoren zoals wind, stroming of golfslag bij toekomstige boerderijen in andere natuurlijke omstandigheden ervoor gaat zorgen dat er een actief balanceersysteem nodig gaat zijn. Het meest geschikte balanceersysteem voor drijvende boerderijen is een systeem met waterballasttanks. Op iedere hoek van de boerderij staat een watertank, die vol en leeggepompt kan worden om de boerderij te balanceren. Uit het ontwerpproces is gebleken dat dit het meest robuuste, betrouwbare en eenvoudigste systeem is. Deze conclusie komt overeen met de adviezen die gegeven zijn door ingenieurs van partnerbedrijven in de scheeps- en waterbouw.

8. Conclusie

In de afstudeeropdracht is gewerkt naar het beantwoorden van de hoofdvraag: ‘Wat zijn goede methodes om problemen rondom statische en dynamische onbalans in de gewichtsverdeling van de drijvende boerderij op te lossen?’ Hiervoor is een analyse gedaan naar de problemen met bijbehorende oorzaken en is een ontwerpproces doorlopen om tot concepten en ontwerpaanpassingen te komen.

Uit de analyse is gebleken dat de scheefligging van de drijvende boerderij wordt veroorzaakt door onbalans in de gewichtsverdeling. De analyse bestaat uit een rekenmodel waarin in kaart wordt gebracht wat de gewichtsverdeling is. De problemen die hieruit voortkomen zijn een wisselend waterniveau in de bakken met gewassen van de vertical farm en mestophoping in de laagstgelegen hoek van de koeienstal. Het wisselende waterniveau zorgt ervoor dat een deel van de gewassen uitdrogen, terwijl een ander deel verdrinkt door te veel water. De mestophoping veroorzaakt stankoverlast en levert veel extra arbeid op voor de koeienboer.

Het ontwerpproces leidt tot aanpassingen op de bestaande boerderij in Rotterdam voor het verhelpen van de problemen en tot een concept voor een dynamisch balanceersysteem voor boerderijen. Het percentage van het verplaatste gewicht bij de herindeling van de boerderij ten opzichte van het totale gewicht van de indeling is 35,8%. De gedeeltelijke herindeling is in vergelijking met een andere ontwerpaanpassing niet de beste mogelijkheid, door de lastige realisatie met hoge kosten. Het waterniveau in de bakken met gewassen kan gelijkmatiger worden door tussenschotten te plaatsen in de bakken. De hellingshoek van de boerderij en dus ook van de bakken blijft gelijk, maar doordat de bakken kleiner worden neemt het verschil in waterniveau af. De mestophoping kan verminderd worden door de indeling van de stal gedeeltelijk te veranderen, waardoor de mest beter kan worden meegenomen door de mestrobot.

Op toekomstige boerderijen moet er bij de indeling met een berekening gecontroleerd worden of de gewichtsverdeling voldoende gelijkmatig is. Het plaatsen van variërende gewichten in het midden van de boerderij zorgt voor minder verstoring van de balans. Als de variatie in de balans niet acceptabel is, kan dit met een balanceersysteem gecompenseerd worden. Het dynamische balanceersysteem bestaat uit watertanks op alle vier de hoekpunten van de boerderij als contragewicht, om de gemeten hellingshoek te compenseren.

Dit ontwerprapport toont aan dat de competenties op het juiste niveau zijn behaald. De mate van zelfstandigheid en de complexiteit van de aard van de context is hoog bij de afstudeeropdracht. De zelfstandigheid blijkt uit het samenwerken met andere bedrijven en de verantwoordelijkheden. De ongedefinieerde en multidisciplinaire opdracht tonen de complexiteit van de opdracht aan. Deze factoren sluiten aan op de competentie professionaliseren. De competentie analyseren is onder andere toegepast bij de analyse van de gewichtsverdeling op de boerderij in Rotterdam. Hierbij is vervolgens onderzocht hoe valide het rekenmodel is. De competentie ontwerpen is onder andere toegepast bij het ontwerpen van het dynamische balanceersysteem. Daarmee wordt uiteindelijk geadviseerd wat de beste ontwerpverbeteringen zijn.

9. Aanbevelingen

Uit het proces is gebleken dat er ontwerpaanpassingen mogelijk zijn voor het verhelpen van de problemen door de scheefligging van de boerderij. In dit hoofdstuk wordt er opgesomd wat de vervolgstappen zijn voor dit project.

Ten eerste wordt aanbevolen om een herindeling te doen van de boerderij in Rotterdam. Dit is de meest effectieve manier om de problemen op te lossen en hiermee worden toekomstige problemen ook voorkomen. De herindeling houdt in dat de shovel van de koeienboer op de kade geplaatst moet worden en dat de watertank van de vertical farm verplaatst moet worden. Voordat de voersilo verplaatst wordt naar de technische ruimte, moet er eerst een onderzoek gedaan worden of het verplaatsen van de installaties in de technische ruimte mogelijk is en opweegt tegen het voordeel van een betere gewichtsverdeling. Er hoeft geen dynamisch balanceersysteem te komen op de drijvende boerderij, omdat de kosten en lastige realisatie niet opwegen tegen de voordelen van een gebalanceerde boerderij.

Voor het verminderen van het verschil in waterniveau onder de gewassen van de vertical farm, is het plaatsen van tussenschotten in de bakken de beste ontwerpaanpassing. Dit concept moet met een proof of concept getest worden, als de andere problemen met het bewateringssysteem zijn opgelost. Als de tussenschotten voldoende blijken te werken moet dit gerealiseerd worden in alle bakken. Als uit de test blijkt dat dit concept niet werkt, moeten de bakken recht gemaakt worden door de lage kant van de bakken te verhogen. Dit moet gedaan worden door de wielen onder de bak te verhogen.

De mestophoping in de stal wordt verholpen door de stalindeling gedeeltelijke aan te passen. Hierdoor zijn er minder scherpe hoeken, wat ervoor zorgt dat de stalvloer beter begaanbaar is voor de mestrobot. De herindeling houdt in dat een deel van het hekwerk in de laagstgelegen hoek van de stal verplaatst moet worden. De herindeling van de boerderij en het verplaatsen van het hekwerk wordt uitgevoerd door technisch personeel van Floating Farm

Toekomstige boerderijen worden ontworpen door Floating Farm in samenwerking met verschillende partnerbedrijven. De aandachtspunten voor de indeling van de boerderij moeten gedeeld worden met deze partners. Ingenieurs van Floating Farm moeten partners controleren of er aandacht is besteed aan de balans van de gewichtsverdeling. Als de balans in gewichtsverdeling varieert, moet het conceptontwerp van het dynamische balanceersysteem verder uitgewerkt worden. Het balanceersysteem bestaat uit een meetsysteem voor de hellingshoek, watertanks op de vier hoekpunten van de boerderij en een regelsysteem om de correctie te berekenen en het systeem aan te sturen.

Literatuurlijst

Berg, I., Cowan, K., Hoiting, L., Oskam, I., Souren, P. (2017). *Ontwerpen van technische innovaties door onderzoek, creatief denken en samenwerken*. (2^{de} editie). Noordhoff Uitgevers.

Brand, I., Dik, R., Hoogland, W. (2010). *Rapport over rapporteren. Drie cursussen voor een professioneel (digitaal) rapport*. (6^{de} editie). (Noordhoff Uitgevers).

Floating Farm. (2024, 27 juni). *Home - floating farm*. Floating Farm. <https://floatingfarm.nl/>

Het uitvoeren van een hellingproef - Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime. (z.d.). https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_694114_14/1/

Lukas, M. (2025, 23 januari). *NFL's SkyCam*. wsn.com. <https://www.wsn.com/nfl/skycam-ultimate-guide/>

NEN-EN 1672-2:2020 en. (z.d.). <https://www.nen.nl/nen-en-1672-2-2020-en-278623>

Wet van Archimedes - Systeemmodellering. (z.d.). https://sysmod.tbm.tudelft.nl/wiki/index.php/Wet_van_Archimedes

13 Hellingproeven voor schepen zijnde geen vissersvaartuigen - Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime. (z.d.). https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_1318_14/#:~:text=Bij%20het%20begin%20van%20de,in%20haar%20bewegingen%20wordt%20belemmerd

Bijlagen

Bijlage I: Rekenmodel analyse gewichtsverdeling

Deze bijlage is ingeleverd in OnStage als Excel-bestand. De bestandsnaam is 'Scriptie Jelle Willemen-Floating Farm - Bijlage Rekenmodel gewichtsverdeling'.

Bijlage II: Notulen

In deze bijlage zijn twee notulen opgenomen om te tonen hoe de manier van werken was bij het communiceren met partner bedrijven. De twee opgenomen notulen bevatten veel nuttige informatie en zijn van grote waarde geweest voor de afstudeeropdracht. Met deze reden zijn deze notulen opgenomen in een bijlage.

Er is een template gemaakt die voor iedere meeting gebruikt kan worden. De structuur in het template biedt structuur in de voorbereiding richting een meeting, zorgt voor een overzichtelijke weergave van de besproken onderwerpen en geeft duidelijk weer wat de vervolgstappen zijn die voortkomen uit de meeting. Tijdens de meeting werden aantekeningen gemaakt in een notitieboekje en werden de aantekeningen daarna in het overzicht verwerkt. Het template ziet er als volgt uit:

Template notulen

Aanwezig:

Bedrijf:

Locatie/communicatie middel:

Datum:

Onderwerp:

Korte omschrijving:

Projectfase:

Voorbereiding

Omschrijf reden en doel van het gesprek, werk onderwerpen en vragen uit.

Notulen

Werk de aantekening uit die op papier zijn gemaakt, bij elke meeting worden aantekeningen gemaakt in een notitieboekje.

Vervolg stappen

Beschrijf hier de vervolgstappen en taken die ondernomen moeten worden en de mogelijke conclusies op basis van de meeting.

Notulen Bartels & Vedder

Aanwezigen:	Jelle Willemen en Jelle Vedder
Bedrijf:	Floating Farm en Bartels & Vedder
Datum:	14-3-2025
Locatie/communicatie middel:	Telefonisch
Onderwerp:	Afstudeeropdracht stabilisatie Farm
Korte omschrijving:	Een eerste gesprek over de afstudeeropdracht om te bespreken wat aandachtspunten zijn, zoals theoretisch als technisch binnen de opdracht.
Projectfase:	Oriëntatie

Vorbereiding

De voorbereiding op dit gesprek was beperkt. De oorzaak hiervan was dat het plan was om een teams meeting te houden om de afstudeeropdracht te bespreken, maar Jelle Vedder belde op een ongepland moment. Ondanks dat was er van tevoren wel al globaal bedacht wat het doel van het gesprek zou zijn. Dit doel was het bespreken van de opdracht met een ingenieur die meer kennis heeft over het vakgebied, om tot meer inzicht en aandachtspunten te komen.

Het bedrijf Bartels & Vedder is een aannemer gespecialiseerd in bouwen op het water. Dit bedrijf is een partner van Floating Farm en ondersteund bij vraagstukken op constructief en bouwkundig gebied van de drijvende boerderij.

Notulen

Ondanks de beperkte voorbereiding is er veel nuttige theoretische informatie uit het gesprek gekomen. Hieronder staat dit puntsgewijs uitgewerkt.

Een mogelijk globaal stappenplan voor het ontwerpen van het balanceersysteem:

1. Breng de huidige situatie in kaart. Maak hiervoor een analyse van de huidige gewichtsverdeling van de boerderij;
 - Neem van variërende gewichten een realistisch gemiddelde;
 - Neem de koeien hierin niet mee. Koeien zijn te variërend in locatie en gewicht.
2. Onderzoek de grootte van het eerste en tweede orde effect;
 - Zie Hoofdstuk 6 Paragraaf 6.3 voor een toelichting hierover.
3. Meet de diepgang van de barges;
 - Diepgang moet gemeten worden aan de boordrand van schepen of drijvende objecten. Voor de boerderij moet er gemeten worden op de hoekpunten van de barges. Dit geeft het resultaat met de hoogste betrouwbaarheid. Meten aan de vlonder geeft een vertekend beeld omdat de vlonder deels verbogen is
4. Compenseer voor het eerste orde effect, het tweede orde effect wordt hierdoor uit zichzelf gecorrigeerd.

Er is nagevraagd of er bij het ontwerpen van de boerderij is gecontroleerd wat de gewichtsverdeling was en of de drijvende boerderij hierbij recht lag. Dit is het geval, dus er kan aangenomen worden dat de originele constructie van de boerderij in balans is en de onbalans is ontstaan door latere aanpassingen.

Opmerkingen bij concepten

- Waterballasttanks is een goedkope en eenvoudige oplossing; Er moet wel door een constructeur gecontroleerd worden of het bouwkundig mogelijk is om de constructie extra te gaan belasten met contragewicht.
- Drijfvermogen creëren met luchttanks is een optie, maar brengt veel uitdagingen met zich mee en is een duurdere oplossing dan ballast met watertanks;
- Het gebruik van waterjets is in dit geval een veel te complex concept;
- Concepten met bewegende contragewichten zijn complex en een dure oplossing. Ook zijn het onderhouds- en storingsgevoelige systemen, wat voor een balanceersysteem niet gewenst is.

Vervolg stappen

- Uitzoeken wat het eerste en tweede orde effect precies is, wat hiervan het effect is voor de analyse van de gewichtsverdeling en wat er mogelijk mee gedaan moet worden;
- De aanname dat de boerderij in balans was bij het eerste ontwerp verwerken in de analyse van de oorzaken van de scheefligging;
- De opmerkingen over de concepten meenemen in het ontwerpproces en meenemen in de beoordeling van de concepten.

Notulen Damen Shipyards

Aanwezigen:	Jelle Willemen en Bob Sekreve
Bedrijf:	Floating Farm en Damen Shipyards
Locatie/communicatie middel:	Telefonisch
Datum:	21-3-2025
Onderwerp:	Afstudeeropdracht stabilisatie Farm
Korte omschrijving:	Een eerste gesprek over de afstudeeropdracht om te bespreken wat aandachtspunten zijn, zoals theoretisch als technisch binnen de opdracht.
Projectfase:	Oriëntatie en ontwerpen

Vorbereiding

Damen Shipyards is een partner van Floating Farm en er is een samenwerking ontstaan om de kennis van dit bedrijf over drijvende objecten te gebruiken in de afstudeeropdracht. Hiervoor is er telefonisch contact geweest. De reden voor het gesprek is informeren naar aandachtspunten voor de afstudeeropdracht. Dit wordt gedaan door de opdracht toe te lichten en op basis van een aantal voorbereide vragen tot meer informatie te komen. De te stellen vragen en/of onderwerpen staan hieronder opgesomd:

- Opdracht voorleggen
- Informeren naar:
 - 1^e en 2^e orde effecten van drijvende objecten;
 - Statisch en dynamisch disbalans bespreken;
 - Voorleggen van bedachte concepten en vragen naar mogelijke andere oplossingen uit de praktijk;
- Meetsystemen bespreken
- Mogelijke validatie van resultaten uit gewichtsverdeling rekensheet
- Bereidheid of er nog een keer gebeld kan worden.

Damen Shipyards is scheepsbouwer en is betrokken bij het ontwerpen van nieuwe boerderijen van Floating Farm. De rol van dit partnerbedrijf is het construeren en ontwerpen van de constructie.

Notulen

Er zijn een aantal zaken besproken in het gesprek. Over ieder onderwerp is een alinea geschreven met de relevante informatie

Aanmerkingen op het concept met lucht tanks voor extra drijfvermogen:

- Dure oplossing;
- Lucht systemen zijn veel minder robuust dan watersystemen;
- Verschil in dichtheid tussen lucht en helium zo klein dat dat geen significant verschil oplevert in drijfvermogen;
- Als er ook water in je tanks kan komen, dan gaat er altijd wat lucht in het water zitten.

In de scheepsbouw wordt voor schepen die niet in evenwicht zijn als laatste oplossing gebruik gemaakt van lummels. Dit zijn metalenplaten van een halfproduct staal van 16 kilo die aan de boordrand bevestigd worden als ballast. Dit is te vergelijken met de IBC's met water die op dit moment gebruikt worden als ballast op de boerderij in Rotterdam.

Opmerking: variërende gewichten moeten altijd in het middelpunt, dan wel zo dichtbij mogelijk, geplaatst worden. Hierdoor is de arm en daarmee het moment dat door het variërende gewicht wordt veroorzaakt zo veel mogelijk beperkt. Dit resulteert in een kleinere verdraaiing in hellingshoek van drijvende objecten.

Een zeer interessante test om te doen is een hellingproef waarmee het metacentrum bepaald kan worden. In deze hellingproef wordt een pendulum opgehangen en wordt een gewicht met bekende grootte geplaatst aan de boordrand van een schip. Door het plaatsen van het extra gewicht zal de hellingshoek toenemen. De pendulum laat dit zien doordat deze altijd recht naar beneden blijft hangen. De exacte werking, voorbereiding, uitvoering en resultaten van de hellingproef staat uitgewerkt in Hoofdstuk 6, Paragraaf 6.3. Deze test is verplicht om uit te voeren voor elk schip dat gebouwd wordt.

Vervolg stappen

- Uitzoeken wat het metacentrum precies is en wat dit betekent voor de afstudeeropdracht;
- Onderzoek de mogelijkheden voor het uitvoeren van de hellingproef om het metacentrum te bepalen;
- De opmerkingen over de concepten meenemen in het ontwerpproces en meenemen in de beoordeling van de concepten;
- Bij vragen mag er opnieuw contact worden opgenomen over de afstudeeropdracht.

Bijlage III: Programma van eisen

Ontwerpcriteria

In deze bijlage worden de ontwerpcriteria weergegeven. De tabel is een aanvulling op hoofdstuk 6 paragraaf 5.1 'Ontwerpcriteria', waarin de structuur is aangegeven. Per criterium staat de eenheid aangegeven waarin het criterium staat uitgedrukt. De bron geeft aan vanuit welke doelgroepen het criterium voortkomt, met daarbij de datum wanneer er voor het laatst een aanpassing is geweest. Als iets is veranderd aan het criterium is dit doorgestreept en is de verandering te zien. De verificatiemethode geeft aan hoe het criterium getoetst moet worden.

Tabel 12: Ontwerpcriteria, met voor iedere ontwerpdracht een losse groep

Nr.	Eis	Eenheid	Bron	Datum	Verificatiemethode
Gr. 1	Bewatering vertical farm				
1.1	Het bewateren van de trays kan volledig gedaan worden met het daarvoor ontworpen systeem	[-]	Floating Farm	18-2-25	Procesanalyse
1.2	Over de gehele tafel moet het waterniveau gelijk zijn. Onder alle trays op een tafel moet water op te nemen zijn door plantenwortels	[-]	Gewassenteler	3-3-25	Visuele controle
1.3	Het waterniveau mag niet hoger zijn dan 5 mm vanaf de onderkant van de tray gemeten	[mm]	Gewassenteler	3-3-25	Meting
1.4	De ontwerpaanpassing moet bruikbaar zijn in het huidige vertical farm systeem	[-]	Floating Farm, Gewassenteler, partnerbedrijf van vertical farm	18-2-25	Proof of concept
1.4.1	De ontwerpaanpassing moet voedselveilig zijn	[-]	Floating Farm	3-3-25	Norm: NEN-EN 1672-2
1.4.2	De tafels moeten dezelfde lengte en breedte houden	[cm]	Floating Farm, Gewassenteler, partnerbedrijf van vertical farm	18-2-25	Meting
1.4.3	De trays kunnen maximaal 5 cm verhoogd worden ten opzichte van de originele hoogte	[cm]	Gewassenteler, partnerbedrijf van vertical farm	3-3-25	Meting

1.5	De ontwerpverbetering mag de kweekcapaciteit van de vertical farm niet verlagen	[Opbrengst [kg] /m ²]	Floating Farm, gewassenteler	3-3-25	Weging opbrengst
1.6	De ontwerpverbetering moet een minimale levensduur hebben van 5 jaar	[-]	Floating Farm, partnerbedrijf van vertical farm	17-3-25	Onderhoudsplan
1.7	De ontwerpverbetering moet bestand zijn tegen de handelingen die gedaan worden door de gewassenteler, zoals het plaatsen van trays en het reinigen van de tafels	[-]	Gewassenteler	17-3-25	Procesanalyse
1.8	De ontwerpverbetering mag geen extra arbeidstijd opleveren voor de gewassenteler	[minuten]	Floating Farm, gewassenteler	3-3-25	Procesanalyse
1.9	De ontwerpverbetering moet een professionele uitstraling hebben	[-]	Floating Farm, partnerbedrijf van vertical farm	17-3-25	Visuele controle
Gr. 2 Mestophoping koeienstal					
2.1	De ontwerpverbetering moet alle mest die zich ophoopt in de laagstgelegen hoek van de stal in de mestput krijgen met behulp van de mestrobot	[-]	Floating Farm, koeienboer	18-2-25	Visuele controle
2.2	De ontwerpverbetering mag de staloppervlakte niet verminderen	[m ²]	Floating Farm, koeienboer	18-2-25	
2.3	De ontwerpverbetering moet veilig en robuust genoeg zijn voor koeien.	[-]	Floating Farm, koeienboer	6-3-25	Sterkte berekening
2.4	De vloertegels op de stalvloer liggen vlak en er zitten geen gaten in	[-]	Floating Farm, koeienboer	6-3-25	Visuele controle
2.5	Bij de ontwerpverbetering ontstaan geen extra scherpe hoeken in de hekken	[aantal scherpe hoeken]	Floating Farm, koeienboer	6-3-25	Concept controleren
2.6	Het is acceptabel als er wekelijks twee uur nodig is aan arbeidsuren om een kleine hoeveelheid mest uit de hoek op te ruimen	[uur]	Floating Farm, koeienboer	6-3-25	Procesanalyse
Gr. 3 Balanceersysteem toekomstige boerderijen					
3.1	Het balanceersysteem moet de scheefligging binnen acceptabele hellingshoek houden.	[graden]	Floating Farm	13-2-25	Berekening correctie-grootte systeem

3.1.1	Voor de huidige boerderij is de acceptabele hellingshoek bepaald op ongeveer 1 cm hoogteverschil per 100 centimeter. Dit is een hellingshoek van 0,6 graden	[cm of graden]	Floating Farm	10-3-25	Berekening correctie-grootte systeem
3.1.2	Het systeem balanceert de boerderij zodra de hellingshoek van 0,6 graden overschreden worden	[graden]	Floating Farm	10-3-25	Controleren systeem eigenschappen
3.2	Op basis van de indeling van de boerderij en de processen die verstoord worden, moet het systeem aan een bepaalde correctietijd voldoen	[seconden]	Floating Farm	17-3-25	Controleren systeem eigenschappen
3.3	Het systeem moet in de uiterste situaties, dus bij het grootste gewichtsverschil dat mogelijk is, de boerderij binnen de gestelde marges kunnen houden	[-]	Floating Farm	18-2-25	Berekening correctie-grootte systeem
3.4	Dit systeem hoeft niet te corrigeren voor wind of golfslag, wat mogelijk de stabiliteit van de boerderij kan beïnvloeden	[-]	Floating Farm	17-3-25	Controleren systeemeigenschappen
3.5	Het systeem heeft een hoge betrouwbaarheid	[-]	Floating Farm	18-2-25	Risicoanalyse
Gr. 4	Herstellen gewichtsverdeling				
4.1	De kans dat de ontwerpverbetering plotseling faalt, waardoor de boerderij dus scheef zakt, moet zeer klein zijn	[-]	Floating Farm	17-3-25	Risicoanalyse
4.2	De constructie van de ontwerpverbetering moet bestand zijn tegen externe factoren zoals wind, golfslag en stroming	[-]	Floating Farm	28-3-25	Controle sterkte-berekening
4.3	Het herstellen van de gewichtsverdeling moet een financieel voordeel opleveren	[euro]	Floating Farm	2-4-25	Opstellen kosten-batenanalyse

Succescriteria

In de tabel zijn de succescriteria opgenomen, waarnaar verwezen wordt in hoofdstuk 6 paragraaf 5.2 'Succescriteria'. Per criterium staat de weging aangegeven. Een hoger getal betekend dat het criterium belangrijker is en dus ook een hogere weging. Per criterium staat de eenheid aangegeven waarin het criterium staat uitgedrukt. De verificatiemethode geeft aan wanneer het criterium getoetst moet worden.

Tabel 13: Succescriteria, met voor iedere ontwerp opdracht een losse groep

Criteria	Weegfactor	Eenheid	Verificatie methode
Groep 1	Bewatering vertical farm		
Het bewateren van de gewassen kan zo veel mogelijk gedaan worden met het daarvoor ontworpen systeem	3	Tijd [min]	Procesanalyse
Het waterniveau is zo gelijkmatig mogelijk	3	Waterniveau [mm]	Metten
De ontwerpverbetering is zo eenvoudig mogelijk te implementeren.	2	[-]	Installatieplan
De tafels behouden zoveel mogelijk de huidige hoogte	1	Hoogte [cm]	Metten
De ontwerpverbetering heeft een zo lang mogelijke levensduur	2	Tijd [jaar]	Onderhoudsplan
De ontwerpverbetering levert zo min mogelijk extra werk op voor de teler	2	Tijd [min]	Procesanalyse
De ontwerpverbetering ziet er zo professioneel mogelijk uit	1	[-]	Vergelijking concepten
Groep 2	Mestophoping koeienstal		
Er wordt zo veel mogelijk mest naar de mestput verplaatst	3	[L/m ²]	Procesanalyse
De ontwerpverbetering is zo robuust mogelijk	2	[-]	Sterkteberekening
De stalvloer is zo vlak mogelijk	1	[-]	Visuele controle
Er zitten zo min mogelijk scherpe hoeken in de hekken bij een aangepaste stalindeling	2	[-]	Concept controle
De hoeveelheid mest die nog handmatig naar de mestput verplaatst moet worden kost zo min mogelijk tijd.	2	Tijd [min]	Procesanalyse
Groep 3	Balanceersysteem toekomstige boerderijen		
Het balanceersysteem houdt de hellingshoek zo veel mogelijk binnen de gestelde marges voor de hellingshoek	3	Hoek [graden]	Inschatting werking
De tijd dat de boerderij onder een hellingshoek ligt, groter dan de gestelde marges, is zo kort mogelijk	2	Tijd [min]	Tijdsinschatting
Het systeem heeft zo min mogelijk storingen	2	[aantal/ maand]	Risicoanalyse

De kans op falen van het systeem is zo klein mogelijk	3	[aantal/maand]	Risicoanalyse
Groep 4	Herstellen gewichtsverdeling		
De ontwerpverbetering moet zo eenvoudig mogelijk te implementeren zijn	1	Tijd [uur]	Installatieplan
De realisatie heeft zo min mogelijk kosten	2	Waarde [euro]	Kostenanalyse
De ontwerpverbetering is zo goed mogelijk aanpasbaar aan toekomstige veranderingen in gewichtsverdeling	2	[-]	Aanpasbaarheid concept
De ontwerpverbetering is zo veel mogelijk bestand tegen externe factoren zoals wind, golfslag en gebruikers van de boerderij en daarmee robuust	2	[-]	Sterkteberekening
De ontwerpverbetering heeft een zo klein mogelijke kans dat de compenserende kracht plotseling wordt opgeheven en is daarmee betrouwbaar	3	[aantal/ maand]	Risicoanalyse

Bijlage IV: Hellingsproef voor schepen

In een overleg met een ingenieur van Damen Shipyards is een proef besproken die gedaan werd in de scheepsbouw om het metacentrum te bepalen. Er is vervolgens onderzocht of het mogelijk is om deze proef ook uit te voeren met de drijvende boerderij, om zo toch een link te kunnen maken tussen de hellingshoek en de rekensheet.

De proef waarover gesproken wordt, is een proef waarbij een bekende hoeveelheid gewicht wordt verplaatst over het schip, in dit geval de drijvende boerderij, en wordt er met een pendulum de hellingshoek van het schip gemeten die wordt veroorzaakt door het verplaatste gewicht. Voor deze proef zijn een aantal condities vereist om te garanderen dat het resultaat betrouwbaar is. Deze condities staan vermeld in algemene bepalingen die zijn opgesteld door het Ministerie van infrastructuur en watermanagement (*Uitvoeren van een Hellingproef - Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime, z.d.; 13 Hellingproeven Voor Schepen Zijnde Geen Vissersvaartuigen - Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime, z.d.*). Nadat er kritisch is gekeken naar de condities waaraan voldaan moest worden, moest geconcludeerd worden dat het niet mogelijk was deze proef uit te voeren. De bepalende condities die tot deze conclusie leiden staan hieronder uitgewerkt, met daarbij de reden waardoor het de proef onmogelijk maakt:

- De te verplaatsen hoeveelheid gewicht is 1% van het totale gewicht;
Op basis van de totale hoeveelheid water die de drijvende boerderij verplaatst is dit gewicht te bepalen. Het benodigde gewicht is 13 ton. Het is niet zeker of het bouwkundig mogelijk is om zoveel gewicht aan één buitenzijde toe te voegen, zonder schade aan te richten.
- De uitslag van de pendulum is minstens 9 cm en bij een hellingshoek van 1 tot 2 graden;
Een hellingshoek van 1 tot 2 graden van de boerderij is te veel om met de boerderij te maken.
- Het schip moet vrij kunnen bewegen tijdens het uitvoeren van de proef.
De boerderij is aan de achterkant bevestigd aan twee kolommen met glijblokken om de boerderij op zijn plek te houden. Hierdoor kan de boerderij niet vrij bewegen.

Op basis van deze condities die nodig zijn voor de proef, kan de proef niet uitgevoerd worden. De proef kan dus ook niet gebruikt worden om het metacentrum en daarmee de hellingshoek te bepalen.

Bijlage V: Competentieverantwoording

In deze bijlage staat de competentieverantwoording voor het afstuderen van de bachelor Werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool. Aan de hand van deze bijlage wordt er bewezen dat er tijdens het afstudeertraject het beoogde eindniveau voor de competenties is behaald. In deze afstudeeropdracht is er gewerkt aan de competenties analyseren, ontwerpen, adviseren en professionaliseren. De competenties realiseren, beheren en managen komen niet aanbod in deze afstudeeropdracht.

De competentieverantwoording wordt gedaan aan de hand van het ontwerprapport in combinatie met STARR-voorbeelden. In Tabel 14 in deze bijlage staan alle competenties onder elkaar opgesomd in de eerste kolom, met daarachter het gerealiseerde eindniveau in de tweede kolom. Vervolgens wordt er voor iedere competentie een aantal onderdelen uit het ontwerprapport benoemd als bewijslast voor het behalen van het niveau. Voor iedere competentie die aanbod is gekomen in de afstudeeropdracht is een STARR-voorbeeld gegeven.

Competentieniveaus zijn ingedeeld op basis van complexiteit van de context en de mate van zelfstandigheid. Voor alle competenties geldt dat de mate van zelfstandigheid niveau drie is. De afstudeerder is in alle gevallen verantwoordelijk geweest voor de voortgang en resultaten van de opdracht. Hierbij hoort ook dat er samengewerkt is met collega's en andere partner bedrijven, waarbij de afstudeerder zelf verantwoordelijk was voor voortgang en resultaat. Dit alles is uitgevoerd op initiatief van de afstudeerder.

De aard van de context is onbekend, want er is nog net eerder een vergelijkbaar ontwerpproject gedaan of bij een vergelijkbaar bedrijf gewerkt of stagegelopen door de afstudeerder. De afstudeeropdracht bevat veel verschillende werkvelden en is daarmee multidisciplinair. Een groot deel van de opdracht is een werktuigbouwkundig ontwerpproject, maar door de context van de opdracht zit er ook veel maritieme techniek verwerkt in de opdracht. Daarnaast zit er ook een deel elektronica in de opdracht, onder andere in het werken en testen van meetapparatuur.

Voor de competenties analyseren, ontwerpen en professionaliseren worden er onbekende problemen aangepakt met methoden die zelfstandig zijn gekozen en toegepast. Hierdoor is het gerealiseerde eindniveau behaald op niveau drie. Voor de competentie adviseren is de methode ook zelfstandig gekozen om te gebruiken, maar is de toepassing minder complex. Dit maakt dat deze competentie op niveau twee is uitgewerkt.

Tabel 14: Competentie verantwoording

Competentie	Gerealiseerd eindniveau	Bewijslast
1. Analyseren	3	Opdrachtanalyse – Er is een analyse uitgevoerd om de inhoud van de opdracht vast te stellen. <i>Verwijzing: Hoofdstuk 5, Paragraaf 2</i>
		Probleemanalyse – Er is een analyse uitgevoerd om de oorzaken van het ontwerpprobleem te achterhalen <i>Verwijzing: Hoofdstuk 5, Paragraaf 3</i>
		Rekenmodel gewichtsverdeling Situatie: Afstudeeropdracht bij Floating Farm, analyse fase Taak: Er wordt een rekenmodel opgesteld om te analyseren wat de gewichtsverdeling is van een drijvende boerderij Actie: Eerst is in kaart gebracht wat de gewichtsverdeling is, waarbij de boerderij is opgedeeld in raster vakken. Dit is verwerkt in een Excel bestand. Vervolgens is dit per raster vak omgerekend naar een moment en is het totaal moment berekend. Resultaat: De gewichtsverdeling is inzichtelijk gemaakt en het rekenmodel kan gebruikt worden voor andere boerderijen of bij veranderingen in de indeling Reflectie: Het model is geschikt voor het doel waarvoor het gemaakt is; het inzichtelijk maken van de gewichtsverdeling. Van tevoren had beter nagedacht kunnen worden of het model ook ergens anders voor gebruikt kan worden, zoals de koppeling naar de hellingshoek. <i>Verwijzing: Hoofdstuk 6, Paragraaf 6</i>
		Programma van eisen – Er is een programma van eisen opgesteld voor verschillende ontwerpen <i>Verwijzing: Hoofdstuk 6, Paragraaf 5</i>
		Functieboom – Voor een balanceersysteem van een drijvende boerderij is een functieboom gemaakt <i>Verwijzing: Hoofdstuk 6, Paragraaf 1</i>
2. Ontwerpen	3	Concepten presentatie Situatie: Afstudeeropdracht bij Floating Farm, ontwerp fase Taak: Er worden verschillende concepten gemaakt om het ontwerp van de drijvende boerderij te verbeteren Actie: Een functieboom en -blokschema zijn gemaakt. Vanuit meerdere concepten is met behulp van succescriteria het beste concept gekozen. De beoordeling van concepten is toegelicht en de gekozen concepten zijn getoetst aan het programma van eisen

		<p>Resultaat: Voor ieder ontwerpprobleem is een ontwerpaanpassing of een concept</p> <p>Reflectie: Op een gestructureerde manier is er gewerkt naar concepten. Het detailniveau per probleem verschilt, maar is voor ieder concept tot het juiste niveau uitgewerkt</p> <p><i>Verwijzing: Hoofdstuk 6 Paragraaf 1 en 2 en Hoofdstuk 7</i></p> <p>Rapportage ontwerpproces – Het ontwerpproces is gerapporteerd in een ontwerprapport waarin alle stappen en keuzes worden toegelicht volgens een gekozen ontwerpmethod. Opbouw rapportage volgens Brand et al (2010)</p> <p><i>Verwijzing: Hoofdstukken 5, 6 en 7</i></p>
3. Realiseren	N.v.t	
4. Beheren	N.v.t.	
5. Managen	N.v.t.	
6. Adviseren	2	<p>Advies ontwerpverbeteringen</p> <p>Situatie: Afstudeeropdracht bij Floating Farm, ontwerpfase</p> <p>Taak: Er wordt een advies uitgebracht voor ontwerpverbeteringen voor de bestaande en toekomstige drijvende boerderijen op basis van de bevindingen van de afstudeeropdracht</p> <p>Actie: Nadat de concepten gemaakt zijn voor de ontwerpproblemen, is gekeken naar wat haalbare verbeteringen zijn. Factoren hierbij zijn bijvoorbeeld realisatiemogelijkheden, kosten, arbeidsuren etc.</p> <p>Resultaat: Een ontwerpconclusie is geschreven en een aanbeveling. In de aanbeveling wordt concreet gemaakt wat de vervolgstappen moeten zijn, na het afronden van de afstudeerperiode</p> <p>Reflectie: Met de voorgestelde aanpassingen kunnen de problemen worden verholpen. Het proces hier naartoe is op een doelgerichte en efficiënte manier gegaan</p> <p><i>Verwijzing: Hoofdstuk 7, Paragrafen 2.2, 3.2 en 5 en hoofdstuk 8. Conclusie</i></p> <p>Bedrijfspresentatie projectadvies – Het advies is gepresenteerd in een bedrijfspresentatie aan de betrokken collega's</p>
7. Onderzoeken	N.v.t.	
8. Professionaliseren	3	<p>Ontwerprapport</p> <p>Situatie: Afstudeeropdracht bij Floating Farm</p> <p>Taak: Het schrijven van een ontwerprapport over het verloop van het ontwerpproces</p> <p>Actie: Voorafgaand aan het schrijven is een structuur gemaakt voor het rapport. Dit was een goed houvast voor het schrijven.</p> <p>Resultaat: Binnen de gestelde deadline is het ontwerprapport geschreven.</p>

		<p>Reflectie: Het is gelukt om een logische structuur aan te brengen in het ontwerprapport. Er is slim gebruik gemaakt van tweede lezers en feedback van begeleiders, het rapport is tijdig met hen gedeeld zodat er voldoende tijd was voor feedback. Een leerpunt is om het uitvoeren van de opdracht en het schrijven van het rapport meer tegelijk uit te voeren. <i>Verwijzing: Het betreffende ontwerprapport</i></p>
		<p>Competentieverantwoording – Er is bewijslast geleverd voor competentieverantwoording van de afstudeeropdracht <i>Verwijzing: Bijlage IV</i></p>
		<p>Notulen communicatie met andere bedrijven – Er is samengewerkt met partner bedrijven en zijn er notulen opgenomen in de scriptie van gesprekken <i>Verwijzing: Bijlage II</i></p>