German-Dutch Wind Tunnels

BACARDI

Het ontwikkelen van een systeem voor het automatiseren van balanskalibraties

Christelijke Hogeschool Windesheim te Zwolle
Opleiding: Elektrotechniek
Datum: 17-12-08
Versie: 1.0
AP-nummer: E.08.1.05
Studenten: J.W. Kramer en S.F. Otten
Begeleiders: Ing. C.G.M. Jutten en Ing. W.E.H.M. Holweg

Voorwoord

Dit rapport is een verslag van een afstudeerproject dat is uitgevoerd door 2 studenten van de Christelijke Hogeschool Windesheim te Zwolle. Het project is uitgevoerd in opdracht van de afdeling INC van het bedrijf Duits Nederlandse Windtunnels (DNW) in Marknesse.

In de periode van 1 september 2008 tot 16 januari 2009 zijn wij werkzaam geweest bij het bedrijf Duits Nederlandse Windtunnels (DNW) in Marknesse voor de uitvoering van ons afstudeerproject. Wij volgen de opleiding Elektrotechniek aan de Christelijke Hogeschool Windesheim te Zwolle. Dit verslag is tot stand gekomen tijdens de uitvoering van onze afstudeeropdracht.

Het verslag is in de eerste plaats bestemd voor de betrokkenen die deze opdracht moeten beoordelen. Voor de medewerkers van DNW zijn de resultaten en analyse van de problemen van dit project te vinden in Hoofdstuk 5 tot en met 8, en de bijlages. Voor de begeleiders vanuit de onderwijsinstelling zijn de inleiding, de projectopdracht en de keuzes tijdens het project het meest van belang. Zij worden verwezen naar Hoofdstuk 3 tot en met 7. Daarnaast is dit rapport een inleiding en verslaglegging voor degenen die dit project uiteindelijk zullen afmaken.

In het bijzonder zijn wij aan onze bedrijfsbegeleider dhr. Ing C.G.M. Jutten veel dank verschuldigd voor zijn begeleiding vanuit DNW, en dhr. Ing W.E.H.M. Holweg voor de begeleiding vanuit Windesheim. Daarnaast willen we iedereen bedanken die op welke manier dan ook ons hebben geholpen bij ons project.

J.W. Kramer
S.F. Otten

Inhoudsopgave

VERKLARENDE WOORDENLIJST EN DEFINITIES 5

SAMENVATTING 6

SUMMARY 7

1. INLEIDING 8

2 ACHTERGRONDEN 9

2.1 DE STICHTING DNW 9
2.2 DE WINDTUNNELS VAN DNW 9
2.3 BALANSEN 10
2.4 KALIBRATIE VAN EEN BALANS 13

3 DE PROJECTOPDRACHT 16

3.1 PROBLEEMSTELLING 16
3.2 BEDRIJFSDOELSTELLING 16
3.3 OPDRACHTFORMULERING 16

4 PROGRAMMA VAN EISEN 17

4.1 INLEIDING 17
4.2 ALGEMENE EISEN 18
4.3 ALGEMENE RANDVOORWAARDEN 19
4.4 EISEN AAN DE BESTURING/GUI 19
4.5 EISEN AAN DE SENSOREN & MEETINSTRUMENTEN 21
4.6 EISEN AAN DE REGELAARS & ACTUATOREN 21
4.7 DE IJKBOK 22

5 FUNCTIONELE SYSTEEMBESCHRIJVING 23

5.1 INLEIDING 23
5.2 FUNCTIONELE BESCHRIJVING VAN DE BESTURING/GUI 24
5.3 FUNCTIONELE BESCHRIJVING VAN DE SENSOREN & MEETINSTRUMENTEN 26
5.4 FUNCTIONELE BESCHRIJVING VAN DE REGELAARS & ACTUATOREN 28
5.5 DE COMPLETE FUNCTIONELE SYSTEEMBESCHRIJVING 30

6 SYSTEEMOPTIES 32

6.1 DE BESCHIKBARE IJKBOK, MOTOREN, REGELAARS EN GUI 32
6.2 BESCHIKBARE HOEKOPNEMERS 33
6.3 BESCHIKBARE MEETINSTRUMENTEN 34

7 BESPREKING VAN DE SYSTEEMMOGELIJKHEDEN 39

7.1 BESPREKING VAN DE BESCHIKBARE IJKBOK, MOTOREN, REGELAARS EN GUI 39
7.2 BESPREKING VAN DE BESCHIKBARE HOEKOPNEMERS 44
7.3 BESPREKING VAN DE BESCHIKBARE MEETINSTRUMENTEN 45

8 HET VOORLOPIGE ONTWERP 50

9 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 52
9.1 CONCLUSIES 52
9.2 AANBEVELINGEN 53
LITERATUURLIJST 54
BIJLAGEN 56
BIJLAGE 1: DE BENODIGDE NAUWKEURIGHEID VAN DE HOEK 56
BIJLAGE 2: FOUTENANALYSE BIJ GEBRUIK ACCELEROMETER EN ENCODER 58
BIJLAGE 3: OVERBRENGING VAN DE IJKBOK 60

Verklarende woordenlijst en definities

DNW:	Duits-Nederlandse Windtunnels
NLR:	Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium
DLR:	Deuthchen Zentrum für Luft- und Raumfahrt
LLF:	Large Low-speed Facility; één van de windtunnels in Marknesse
LST:	Lage Snelheid Tunnel; één van de windtunnels in Marknesse
Balans	Een sensor die krachten en momenten meet
IJkbok	Mechanisch frame dat in dient om een balans onder een bepaalde hoek te brengen, en te houden, binnen DNW ook bekend als ijkbok 1
SVC:	Single Vector Calibration; een kalibratiemethode voor balansen
BACARDI:	Balance Calibration Automatisation Research and Designed Instrument; project opgezet voor het automatiseren van het instellen van de hoeken van de ijkbok 1 in Amsterdam
CU	Conditioning Unit; meetinstrument voor het uitlezen en voeden van sensoren
CT	Control Techniques; producent van motoren en motorcontrollers
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench; visuele programmeeromgeving
GAIUS	Generic Automated Intergrated Universal System for windtunnels; een nieuw windtunnel automatisering systeem
FIASCO	Facility Integrated Automation Scalable Control Operation; plan voor het ontwikkelen van het GAIUS systeem
α	De alfa-hoek van de ijkbok
ω	De omega-hoek van de ijkbok
Encoder	Elektromechanisch apparaat dat gemonteerd kan worden op een as en de hoek van die as in een digitale code kan omzetten
Accelerometer	Een versnellingopnemer
Q-flex	Naam die binnen DNW gebruikt wordt voor de QA-2000 accelerometer

Samenvatting

Bij Duits Nederlandse Windtunnels (DNW) worden aerodynamische metingen verricht aan windtunnelmodellen. Voor het meten van krachten en momenten die op het model of voertuig werken wordt er gebruik gemaakt van zogenaamde balansen. Aan de hand van de output van de balans kunnen de grootte en de richting van de krachten en momenten worden bepaald.

De balansen moeten eens in de zoveel tijd worden gekalibreerd om betrouwbare meetresultaten te kunnen garanderen. Voor het kalibreren van de balansen wordt gebruik gemaakt van een ijkbok. Dit is een apparaat dat de balans onder een bepaalde hoek kan positioneren. Nadat de balans onder een bepaalde hoek is gebracht worden er gewichten bevestigd aan de balans. Daarna wordt er gemeten wat de output van de balans is. Deze resultaten worden opgeslagen en vervolgens gebruikt bij het bepalen van de werkelijke krachten die worden gemeten tijdens tests in de windtunnel

Het kalibreren van een balans is een tijdrovend proces, doordat het instellen van de hoeken waaronder de balans moet staan met de hand gebeurd. DNW wil in de toekomst het instellen van de hoeken gaan automatiseren. Ook wil DNW een nieuwe kalibratie methode voor balansen gaan toepassen, genaamd Single Vector Balance Calibration (SVC). Het BACARDI (Balance Calibration Automation Research and Designed Instrument) project is opgezet om de mogelijkheden van het automatiseren van het instellen van de hoeken van de ijkbok te bekijken, rekening houdend met de nieuwe balanskalibratie-methode.

Tijdens het project is gekeken hoe met behulp van de binnen DNW beschikbare apparatuur een systeem kan worden gemaakt voor het instellen van de hoeken. Hierbij zijn de mogelijkheden van de apparatuur onderzocht, en is er gekeken of het mogelijk is om met deze apparaten een systeem te bouwen. Dit systeem moet zowel aan de eisen van de nieuwe balanskalibratie-methode, als aan de eisen die DNW aan zijn systemen stelt voldoen.

Het resultaat van dit project is een voorlopig ontwerp van een systeem, met daarbij de prestaties en de beperkingen. Ook worden er adviezen gegeven aan DNW voor verder onderzoek.

Summary

At German Dutch Windtunnels (DNW) aerodynamic measurements are being conducted at different kinds of wind tunnel models. So called balances are used to measure forces and moments that are acting on the models during wind tunnel tests. These balances need to be a calibrated once in a while to guarantee reliable measurements.

A calibration rig is used during the calibration process. This rig is necessary to position the balance under a certain angle. Dead weights are used to simulate the real forces and moments. The measured output of the balance is used to formulate the calibration coefficients for that particular balance. These coefficients are used to determine the real forces and moments during wind tunnel testing.

The calibration of these balances is a time consuming process, because the positioning of the balance is done manually. DNW would like to automate this part of the process in the future. And DNW wants to use a new balance calibration method called Single Vector Balance Calibration (SVC) as well. The BACARDI (Balance Calibration Automation Research and Designed Instrument) project was launched to investigate the possibilities of automating the process of positioning the balance using the calibration rig, while taking the new balance calibration method into account.

During the project it was investigated how such a system could be created using the equipment available at DNW. The specifications of the equipment have been examined, and the possibilities to build a system with this equipment. This system should both meet the requirements of the new balance calibration method, as well as the requirements that DNW has for their systems.

The result of this project is a preliminary system design, with the possibilities and the limitations of the system described. Also recommendations are given to DNW for further research.

1. Inleiding

Al enkele jaren liggen er plannen bij DNW om ijkbok1 in Amsterdam te laten automatiseren. De ijkbok is een apparaat dat wordt gebruikt voor het kalibreren van balansen. De balansen worden door DNW gebruikt voor het meten van krachten en momenten op windtunnelmodellen. Wegens tijdgebrek is het er nog niet van gekomen om de ijkbok daadwerkelijk te automatiseren. DNW heeft daarom twee afstudeerders belast met de taak om de mogelijkheden en eventuele problemen voor het automatiseren van de ijkbok in kaart te brengen.

Het doel van dit rapport is het presenteren van een systeemontwerp dat is gemaakt voor het automatiseren van de ijkbok. Het ontworpen systeem beperkt zich tot de elektrotechnische aspecten van het ontwerp en de toegepaste standaarden binnen DNW. Er is niets ontworpen met betrekking tot (wiskundige) meet- modellen/procedures of mechanica. Wel is hiermee rekening gehouden in zoverre dit raakvlakken heeft met de elektrotechniek.

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt er een uitgebreide omschrijving gegeven van de omgeving waarin de opdracht is uitgevoerd en de geschiedenis van het project. Dit geeft een beeld van de toepassing van het systeem. De opdracht zoals die door DNW gegeven is wordt omschreven in hoofstuk 3. Daarna worden in hoofdstuk 4 en 5 de eisen en randvoorwaarden aan het ontwerp besproken en uitgewerkt. Hoofdstuk 6 tot en met 8 beschrijven hoe ontwerp er uitziet, uit welke apparatuur het systeem is opgebouwd, en waarom voor deze apparatuur gekozen is. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen met betrekking tot het project en het ontwerp in hoofdstuk 9.

2 Achtergronden

In dit hoofdstuk wordt een beeld geschetst van de omgeving waarin het afstudeerproject is uitgevoerd. Het bevat een beschrijving van DNW en een inleiding op balanskalibraties.

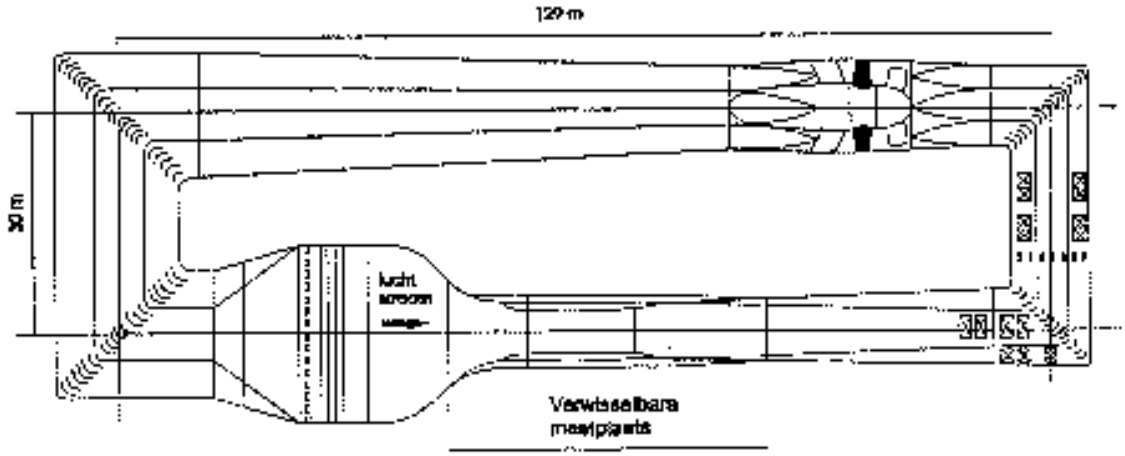
2.1 De stichting DNW

In samenwerking met het Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) heeft het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) in 1976 de stichting Duits Nederlandse Windtunnels (DNW) opgezet. DNW is een stichting die onder de Nederlandse wet opereert, met het hoofdkwartier in de Nederlandse plaats Marknesse. DNW beheert de windtunnels van het NLR en het DLR. Deze windtunnels zijn verspreid over meerdere locaties in Nederland en Duitsland, en zijn volledig geïntegreerd in de DNW organisatie.

DNW heeft als doel om klanten uit de onderzoekswereld en de industriesector te voorzien van een wijd spectrum aan windtunnel test- en simulatietechnieken. De meeste projecten worden geleverd door vliegtuigindustrie, maar ook de auto-industrie, scheepsbouw en de sportwereld maken gebruik van de faciliteiten die DNW ter beschikking stelt.

2.2 De windtunnels van DNW

In de windtunnels van DNW worden metingen verricht aan vliegtuigmodellen en andere objecten. De windtunnels in Marknesse zijn van het type low speed, closed return. Er staan twee windrunnels in Marknesse: de LLF (Large Low-speed Facility) en de LST (Lage Snelheid Tunnel). Naast deze 2 tunnels beheert DNW ook windtunnels waar hogere snelheden kunnen worden behaald, waar de luchtdruk kan worden aangepast en waard de temperatuur kan worden beïnvloed.



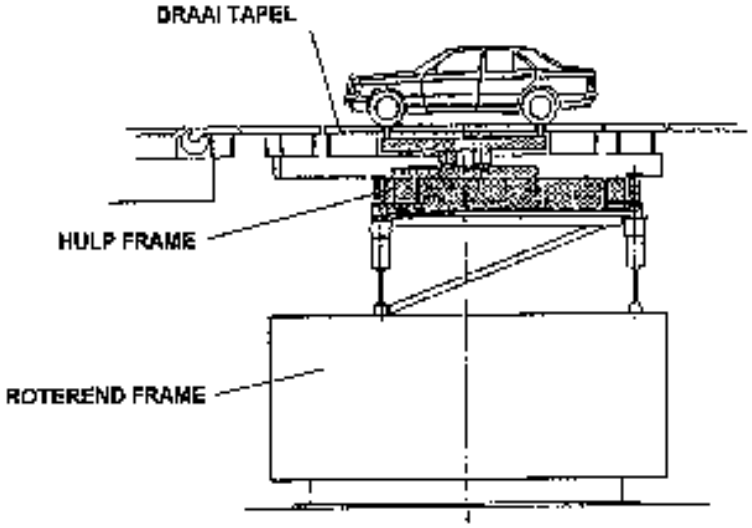
Figuur 2.1 Schematisch overzicht van de windtunnel

2.3 Balansen

Om krachten en momenten te kunnen meten die op het model worden uitgeoefend maakt men bij DNW gebruik van balansen. Er zijn twee soorten balansen die bij DNW worden gebruikt; de interne en de externe balans.

De externe balans

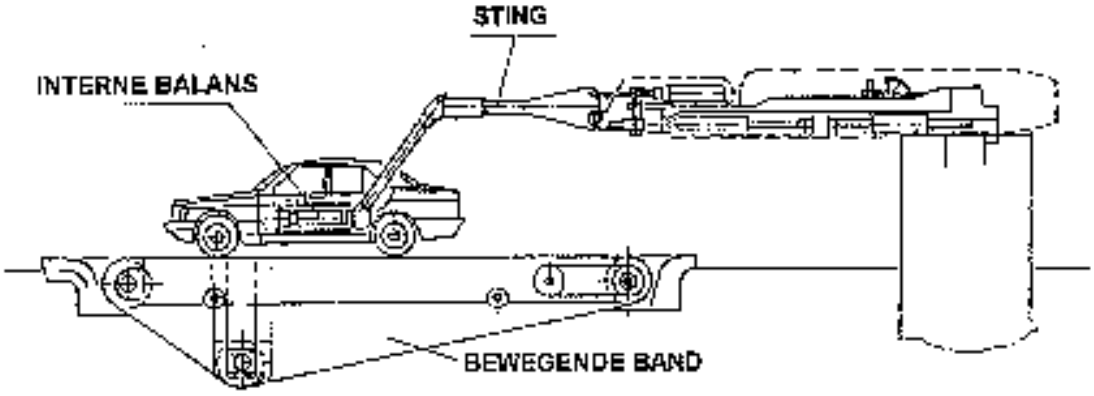
Bij de externe balans wordt een model op de balans geplaatst. Zie figuur 2.2.



Figuur 2.2 De externe balans.

De interne balans

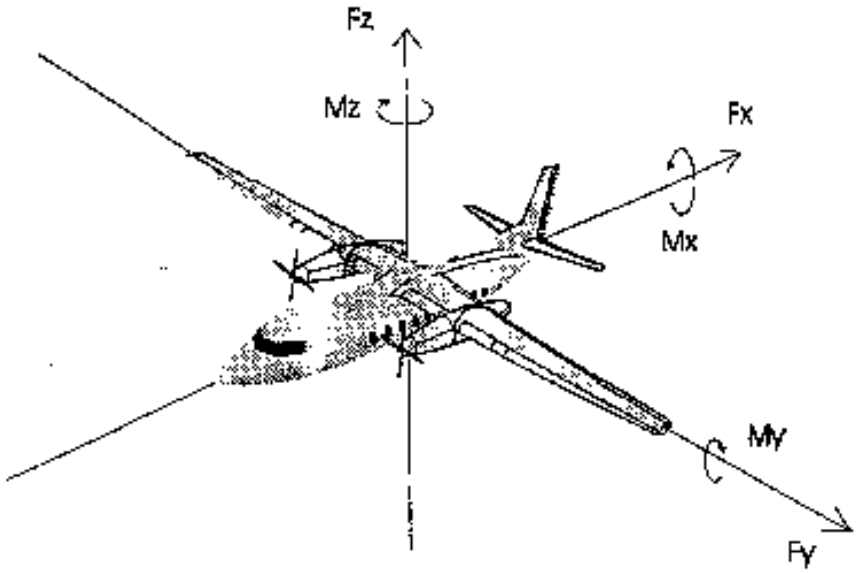
Bij de interne balans wordt de balans in het model geplaatst, en wordt dit model vervolgens met een arm (de sting) verbonden. De sting zorgt voor de ophanging van het model in de windtunnel en bevat de benodigde bekabeling voor de sensoren en meetsystemen. Zie figuur 2.3



Figuur 2.3 De interne balans

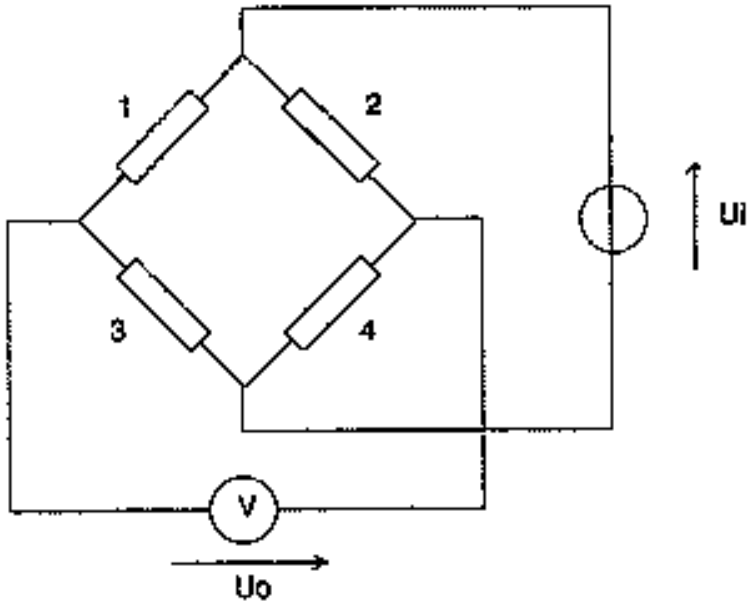
De werking van een balans

De krachten en momenten die op een model werken worden gemeten met een balans. De balans kan drie krachten en drie momenten meten die op het model werken. Zie figuur 2.4.



Figuur 2.4 Krachten en momenten op een model.

Een balans is in principe een stuk metaal waar het model aan hangt. Als er een kracht op het model wordt uitgeoefend zal diezelfde kracht op de balans komen. De balans vervormt door deze kracht. Om deze krachten te kunnen meten is de balansen uitgerust met rekstrookjes. De rekstrookjes zijn opgenomen in een rekstrookbrug waarvan het principe in figuur 2.5 is te zien.



Figuur 2.5 Principe rekstrookbug

De afgegeven spanning U_0 van de brug wordt gemeten door een meetinstrument. Het meetinstrument levert ook spanning U_1 waarmee de brug wordt gevoed. Het meetinstrument geeft nu een meetwaarde af in de gemeten spanning gedeeld door de brugspanning, U_0 / U_1. Bij een verandering van de brugspanning veranderd de afgegeven spanning, maar de meetwaarde blijft dan gelijk.

Als er een kracht of moment wordt uitgeoefend op de balans verandert de weerstandwaarde van één of meerdere rekstrookjes. Door deze weerstandsverandering ontstaat er ook een verandering in de spanning. Deze spanningsverandering is een maat van de verandering van de kracht of het moment dat wordt uitgeoefend op de balans. Via een wiskundig model kunnen deze spanning worden omgerekend naar werkelijke krachten en momenten.

2.4 Kalibratie van een balans

Elke balans heeft zijn eigen wiskundige model. Dit model kan opgesteld worden aan de hand van een kalibratie. De balans moet regelmatig gekalibreerd worden om zeker te zijn van betrouwbare meetresultaten. Wanneer de oude ijkwaarden te veel afwijken worden deze gecorrigeerd. Het kalibreren van de balansen wordt door DNW zelf gedaan in een ijkhal. In deze ijkhal is alle apparatuur aanwezig om de balansen te kalibreren.

Allereerst wordt de balans in een zogenaamd ijklichaam geplaatst. Aan dit ijklichaam worden de gewichten gehangen. Daarmee simuleert men de krachten en momenten die op een balans in de windtunnels worden uitgeoefend. Het ijklichaam wordt vervolgens aan een staak in de ijkbok bevestigd. De ijkbok is een apparaat dat de staak, met daaraan het ijklichaam, onder een bepaalde hoek kan brengen en houden.

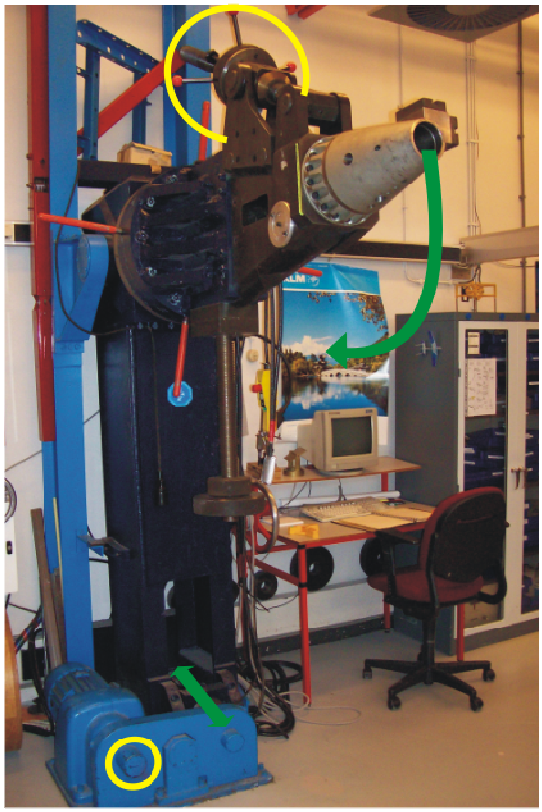
De ijkbok maakt het dus mogelijk om de hoek te variëren. Daarnaast kunnen er met een takel andere gewichten aan het ijklichaam gehangen worden. Er zijn dus twee grootheden variabel, de hoek en het gewicht. Wanneer beide zijn ingesteld kan de uitgangsspanning van de rekstrookjes gemeten worden. Als een van deze twee grootheden onnauwkeurig is leidt dit tot een slechte kalibratie. Dit resulteert vervolgens in slechte meetresultaten voor de klanten van DNW.

Momenteel is het kalibreren van de balansen een arbeidsintensief proces, waarbij 2 personen 2 weken bezig zijn met de kalibratie procedure. Het instellen van de hoeken, het ophangen van de gewichten wordt bijna helemaal met de hand gedaan.

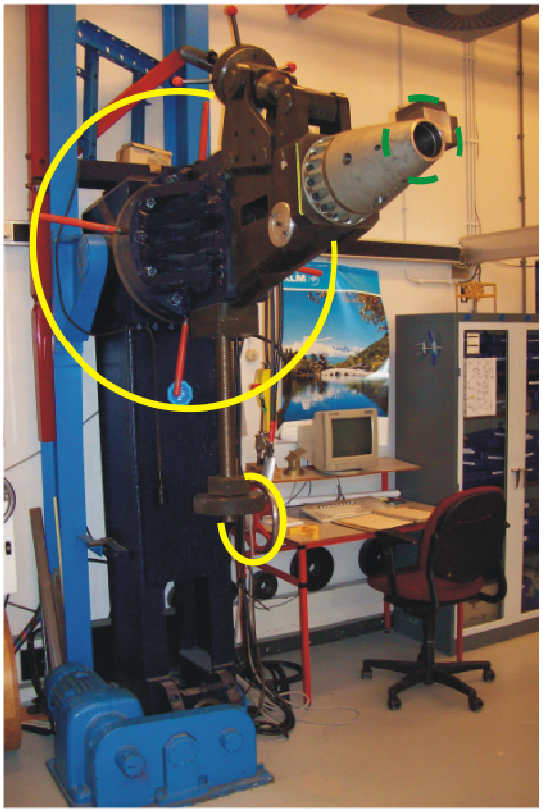
De ijkbok in Amsterdam

De ijkbok kan de balans onder een bepaalde hoek brengen. Deze hoek is instelbaar. De gewichten worden met een takel aan het ijklichaam gehangen. Bij ijkbok in Amsterdam zijn 2 hoeken instelbaar. α en ω.

α is op twee manieren instelbaar. De grove instelling gebeurt met het wiel dat bovenop de kop zit. Het wiel is geel omcirkeld in figuur 2.6. Hierdoor wordt de kop voorover gekanteld. De kromme groene pijl op de foto geeft deze beweging weer. De precieze instelling van α gebeurt met de motor via een afstandsbediening. Achter deze motor bevindt zich een versnellingsbak met een vertraging van 110:1. Zie bijlage 3. De as die uit de versnellingsbak komt is geel omcirkeld op de foto. Via een tandwieloverbrenging van 1:1 brengt deze een spindel in beweging. De spindel trekt een moer over zich heen waardoor de hele ijkbok kantelt. De beweging van de moer is aangegeven door de groene pijl bij de motor.



Figuur 2.6 Aanpassen van de α-hoek



Figuur 2.7 Aanpassen van de ω-hoek

ω is ook op twee manieren instelbaar. Grove instelling gebeurt hier door het grote wiel elke keer 90 graden te kantelen. De grote gele cirkel in figuur 2.7 laat deze beweging zien. Via het kleine handwiel is de hoek ± 5º precies in te stellen. Dit wiel is ook geel omcirkeld. Deze instelling resulteert in een beperkte rolbeweging van de kop, aangegeven met de gedeelde groende cirkel op de foto.

Een nieuwe balanskalibratie-methode

Enkele jaren terug is er een nieuwe methode ontwikkeld waarmee balansen sneller gekalibreerd kunnen worden, genaamd Single Vector Calibration (SVC). DNW is zeer geïnteresseerd in deze nieuwe methode. Bij de oude methode brengt men 1 kracht zuiver aan op de balans. Er zijn dan veel metingen nodig om tot een zuivere kalibratie te komen. In SVC wordt één kracht onder een bekende hoek aangebracht. Deze ene kracht werkt als een combinatie van krachten en momenten op de balans. Het gevolg is dat er minder meetpunten nodig zijn.

Het BACARDI project

Het BACARDI (Balance Calibration Automatisation Research and Designed Instrument) project is opgezet om de mogelijkheden van het automatiseren van de ijkbok te bekijken. Bij het ontwerp voor de automatisering moet ook rekening worden gehouden met SVC.

3 De projectopdracht

Dit hoofdstuk beschrijft de probleemstelling en de doelstelling van DNW. Uit de daaruit geformuleerde opdracht worden de eisen aan het systeem opgesteld. Zie hiervoor hoofdstuk 4.

3.1 Probleemstelling

De huidige manier van balanskalibratie is een tijdrovend en arbeidsintensief proces. DNW wil daarom in de nabije toekomst gebruik maken van een nieuwe balanskalibratie-methode, genaamd SVC. Tevens wil DNW het proces van het instellen van de hoeken van de ijkbok automatiseren, met het idee om in de toekomst met behulp van SVC het balanskalibratie-proces voor een groot deel automatisch te laten verlopen.

Door de automatisering van het balanskalibratie-proces hoopt DNW veel tijd en geld te kunnen besparen. Omdat de kalibratie binnen het bedrijf zal worden uitgevoerd is er ook een controle op de kwaliteit van de kalibratie.

3.2 Bedrijfsdoelstelling

De doelstelling van DNW is dat het instellen van de hoeken van de ijkbok wordt geautomatiseerd. Als dit eenmaal is gebeurd wordt er verder gekeken hoe de SVC methode kan worden toegepast in het balanskalibratie-proces.

3.3 Opdrachtformulering

Aan de hand van de voorgaande probleemstelling en doelstelling kan de opdracht als volgt worden gedefinieerd:

"Ontwikkel een systeem voor het automatiseren van het instellen van de hoeken van de ijkbok, rekening houdend dat er in de toekomst de SVC methode zal worden toegepast voor balans kalibratie”

Om tot een resultaat te komen wordt de probleemstelling in meerdere subprobleemstellingen opgedeeld, om zo op een overzichtelijk manier het hoofdprobleem aan te pakken:

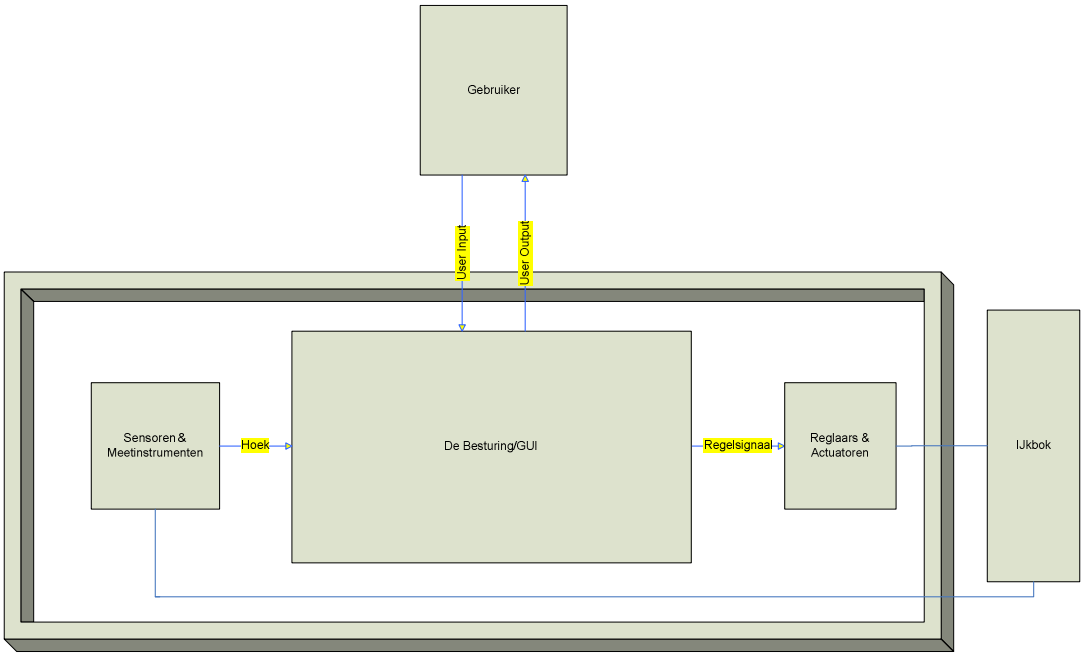
- Onderzoek hoe de hoeken van de ijkbok momenteel worden ingesteld.
- Bekijk wat er nodig is om het instellen van de hoeken automatisch te laten verlopen, ermee rekening houdend dat er in de toekomst de SVC methode zal worden toegepast voor balans kalibratie
- Ontwikkel een systeem voor het instellen van de hoeken van de ijkbok

4 Programma van eisen

4.1 Inleiding

De eisen van de opdrachtgever zijn vastgelegd in dit hoofdstuk. Ze zijn opgesteld na onderzoek naar de werking van de huidige ijkbok en het balanskalibratie-systeem. Er is rekening gehouden met de eisen met betrekking tot SVC. Zoals geformuleerd is in de projectopdracht.

In grote lijnen is het BACARDI-systeem een regelsysteem met een input en output. Het doel van het regelsysteem is om de balans te positioneren, en daar te houden. Hierbij leveren sensoren de huidige hoek van de balans aan de besturing. Dit is een absolute hoek van de balans ten opzichte van de gravitatievector. De besturing vergelijkt deze hoek met de gewenste positie van de balans. Wanneer hier een verschil tussen bestaat, stuurt de besturing een bericht naar regelaars. De regelaars sturen op hun beurt de actuatoren aan om via de ijkbok de balans naar de juiste positie te brengen. Zie figuur 4.1. In de tabel onder de figuur worden termen uitgelegd die in de figuur gebruikt worden.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van het systeem

User Input	Commando's hardware/software Gewenste positie voor de kop van de ijkbok
User Ouput	Status hardware/software Huidige positie van de kop van de ijkbok

Eerst worden de algemene eisen en randvoorwaarden opgesomd die betrekking hebben op het hele systeem. Vervolgens worden ze gerangschikt en uitgewerkt naar de onderdelen van het systeem:

- De besturing
- Sensoren & Meetinstrumenten
- Regelaars & Actuatoren
- De IJkbok

4.2 Algemene eisen

- *Eis 1: Het BACARDI-systeem moet implementeerbaar zijn in GAIUS*
  GAIUS is het automatiseringssysteem voor windtunnels, dat ontwikkeld is voor DNW. DNW eist van alle nieuw gebouwde systemen dat zij implementeerbaar zijn in GAIUS, en voldoen aan de daarbij behorende standaarden.

- *Eis 2: Het BACARDI-systeem mag niet in staat zijn, wel/niet door toedoen van de gebruiker, om zichzelf en/of andere apparatuur te beschadigen*

- *Eis 3: De acties van het BACARDI-systeem moeten herhaalbaar zijn om betrouwbaar balansen te kunnen kalibreren*

  Het systeem moet alle meet- en regelgegevens opslaan zodat de kalibratie herhaald en geverifieerd kan worden. Herhaalbaarheid is één van de factoren die bijdraagt aan de mate van betrouwbaarheid van de metingen. Daarbij kan door herhaalbaarheid gecontroleerd worden of het systeem de balansen nog met dezelfde waarden kalibreert. Onafhankelijk van het tijdstip, maar met dezelfde instellingen.

- *Eis 4 De nauwkeurigheid van de balanskalibraties mag niet kleiner worden door het BACARDI-systeem*
  Momenteel worden bij balanskalibraties fouten tot 0,01 % van de full scale waarde geaccepteerd. De grootte van deze fout mag niet worden overschreden.

- *Eis 5 De apparatuur waaruit het BACARDI-systeem is opgebouwd mag zichzelf en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt*

- *Eis 6 De ijkbok en het BACARDI-systeem moeten toepasbaar zijn in een systeem voor SVC*

- *Eis 7 Het BACARDI-ssyteem moet de ijkbok zó aan kunnen sturen dat deze een stabiele positie kan vasthouden.*

4.3 Algemene randvoorwaarden

- *Randvoorwaarde 1 De ijkbok zelf moet stabiel gebouwd zijn om nauwkeurige metingen uit te voeren.*

- *Randvoorwaarde 2 Wanneer een nieuwe motor controller wordt gekocht moet deze van het merk Control Techniques zijn*
  Control Techniques is een dochterbedrijf van Emerson Automation. Control Techniques spits zich toe op het produceren van motor controllers. DNW wil graag weten of deze motor controllers geschikt zijn voor brede toepassing binnen het bedrijf. De motor controllers kunnen tijdens dit project worden beoordeeld op hun prestaties.

- *Randvoorwaarde 3 Gebruik zoveel mogelijk Ethernet*
  Ethernet heeft binnen DNW de voorkeur boven andere netwerktechnologieën.

- *Randvoorwaarde 4 Bij voorkeur gebruik maken van produkten van National Instruments*
  Randvoorwaarde vanuit DNW.

4.4 Eisen aan de besturing/GUI

- *Eis 1.1 Implementatie in GAIUS: Graphical User Interface aanwezig*
  De gebruiker zal via een grafische interface in staat zijn om met het systeem te kunnen communiceren. Wanneer de gebruiker zijn meetmethode wil veranderen moet dit voor hem tot op bepaalde hoogte instelbaar zijn door software- en/of hardware parameter te veranderen. Ook ziet de gebruiker:
  1. De actuele status van het complete systeem
  2. De actuele positie van de balans
  3. Een beoordeling van de stabiliteit

  De GUI zal aan de hand van de FIASCO style guide ontworpen worden.

- *Eis 1.2 Implementatie in GAIUS: Systeem vanaf 4 niveaus bestuurbaar*
  Een systeem in BACARDI moet vanaf 4 niveaus bestuurbaar zijn:
  1. Automatic: Remote bestuurbaar vanuit GAIUS
  2. Integrated: Het systeem zoals die compleet stand-alone te besturen is met terugkoppeling
  3. Computer: de computer berekent de set-points die door de gebruiker ingevoerd worden en stuurt de actuatoren via de controllers aan
  4. Manual: fysieke besturing waarbij de gebruiker direct de actuatoren/sensoren aanstuurt

  Tussen deze niveaus moet traploos geschakeld kunnen worden

- *Eis 1.3 Implementatie in GAIUS: De actuele status van het systeem is vanaf het netwerk zichtbaar*

Vanaf het netwerk moet altijd te zien zijn hoe het systeem op dat moment gebruikt wordt.

- *Eis 2.1 Beveiliging van het systeem: Beveiliging tegen ongeldig ingevoerde gegevens*
  Het systeem voert een controle uit op door de gebruiker ingevoerde gegevens. Gegevens die voor schade kunnen zorgen worden niet verwerkt.

- *Eis 2.2 Beveiliging van het systeem: Beveiliging bij overschakelen*
  Tussen de 4 niveaus, genoemd in eis 1.2, moet de gebruiker traploos en veilig kunnen schakelen

- *Eis 2.3 Beveiliging van het systeem: Beveiliging tegen beschadiging ijkbok*
  De gebruiker mag niet in staat zijn om via de user interface het BACARDI-systeem en/of andere apparatuur te beschadigen.

- *Eis 3.1 De acties van het BACARDI-systeem moeten herhaalbaar zijn om betrouwbaar balansen te kunnen kalibreren*
  De besturing ontvangt de data die verstuurd wordt door de meetinstrumenten en stuurt via de regelaars de actuatoren aan. Omdat alle gegevens en instellingen in de besturing aanwezig zijn worden ze ook door de besturing opgeslagen.

- *Eis 5.1 De regeling mag het BACARDI-systeem en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt*

- *Eis 6.1 De ijkbok en het BACARDI-systeem moeten toepasbaar zijn in een systeem voor SVC*
  De ijkbok, in zijn huidige staat, heeft 4 instelbare assen om 2 hoeken in te stellen. Zie figuur 2.6 en 2.7. Het staat vast dat de ijkbok volledig gemotoriseerd en geautomatiseerd moet worden. Hoe dit mechanisch gaat gebeuren stond nog niet vast tijdens de uitvoering van dit project. (2-assig systeem of een 4-assig systeem) Om deze reden moet de aansturing flexibel gehouden worden.

- *Eis 7.1 De regeling van het BACARDI-systeem moet de ijkbok zó aan kunnen sturen dat deze een stabiele positie kan vasthouden.*

- *Randvoorwaarde 4 Bij voorkeur gebruik maken van produkten van National Instruments*
  DNW heeft LabVIEW beschikbaar voor het maken van een besturing. LabVIEW is een programmeeromgeving waarin grafisch een applicatie gemaakt kan worden.

4.5 Eisen aan de sensoren & meetinstrumenten

- *Eis 1.4 Implementatie in GAIUS: Systeem vanaf 4 niveaus bestuurbaar*
  Het meetinstrument:
  1. is op afstand bestuurbaar
  2. kan zijn actuele meetgegevens en instellingen op afstand aan de gebruiker laten zien
  3. is stand-alone te bedienen zijn met de sensor

- *Eis 4.1 De nauwkeurigheid van de kalibraties moet gelijk blijven: Nauwkeurigheid sensoren*
  Om aan de nauwkeurigheidseis voor balanskalibraties van 0,01 % FS te voldoen moeten de hoeken van de ijkbok tot op een duizendste graad nauwkeurig gemeten worden.

- *Eis 4.2 De nauwkeurigheid van de kalibraties moet gelijk blijven: Bereik van het meetinstrument*
  Het meetinstrument moet het volledige bereik van de uitgangsspanning van de sensor nauwkeurig genoeg kunnen inlezen.

- *Eis 5.2 De sensoren en/of meetinstrumentenapparatuur waaruit het BACARDI-systeem is opgebouwd mag zichzelf en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt*

- *Randvoorwaarde 3 Gebruik zoveel mogelijk Ethernet*

4.6 Eisen aan de regelaars & actuatoren

- *Eis 1.5 Implementatie in GAIUS: Systeem vanaf 4 niveaus bestuurbaar*
  De regelaar moet:
  1. Op afstand bestuurbaar zijn
  2. In staat zijn om zijn actuele instellingen op afstand te laten zien
  3. Stand-alone te bedienen zijn met de actuator

- *Eis 2.4 Beveiliging van het systeem: Beveiliging tegen beschadiging ijkbok*
  De actuatoren moeten begrensd worden.

- *Eis 2.5 Beveiliging van het systeem: Beveiliging bij overschakelen*
  Tussen de 4 niveaus, genoemd in eis 1.2, moet de gebruiker traploos en veilig kunnen schakelen

- *Eis 4.3 De nauwkeurigheid van de kalibraties moet gelijk blijven: Beweging actuatoren*
  De acutatoren moeten de ijkbok vloeiend kunnen bewegen om deze precies in te stellen.

- *Eis 5.3 De regelaars en/of actuatoren waaruit het BACARDI-systeem is opgebouwd mag zichzelf en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt*

- *Randvoorwaarde 2 Wanneer een nieuwe motor controller wordt gekocht moet deze van het merk Control Techniques zijn*
  Deze motor controllers kunnen tijdens dit project worden beoordeeld op hun prestaties.

- *Randvoorwaarde 3 Gebruik zoveel mogelijk Ethernet*
  De motor controllers van Control Techniques kunnen uitgerust worden met een Ethernet-module.

4.7 De IJkbok

- *Eis 6.2 De ijkbok en het BACARDI-systeem moeten toepasbaar zijn in een systeem voor SVC*
  Van SVC is binnen DNW bekend dat de ω-as 0º tot 360º moet kunnen draaien.
  Voor de α-as geldt dat deze maar kleine bewegingen moet maken bij SVC.
  -20º tot 20º

- *Randvoorwaarde 1 De ijkbok zelf moet stabiel gebouwd zijn om nauwkeurige metingen uit te voeren.*

5 Functionele systeembeschrijving

5.1 Inleiding

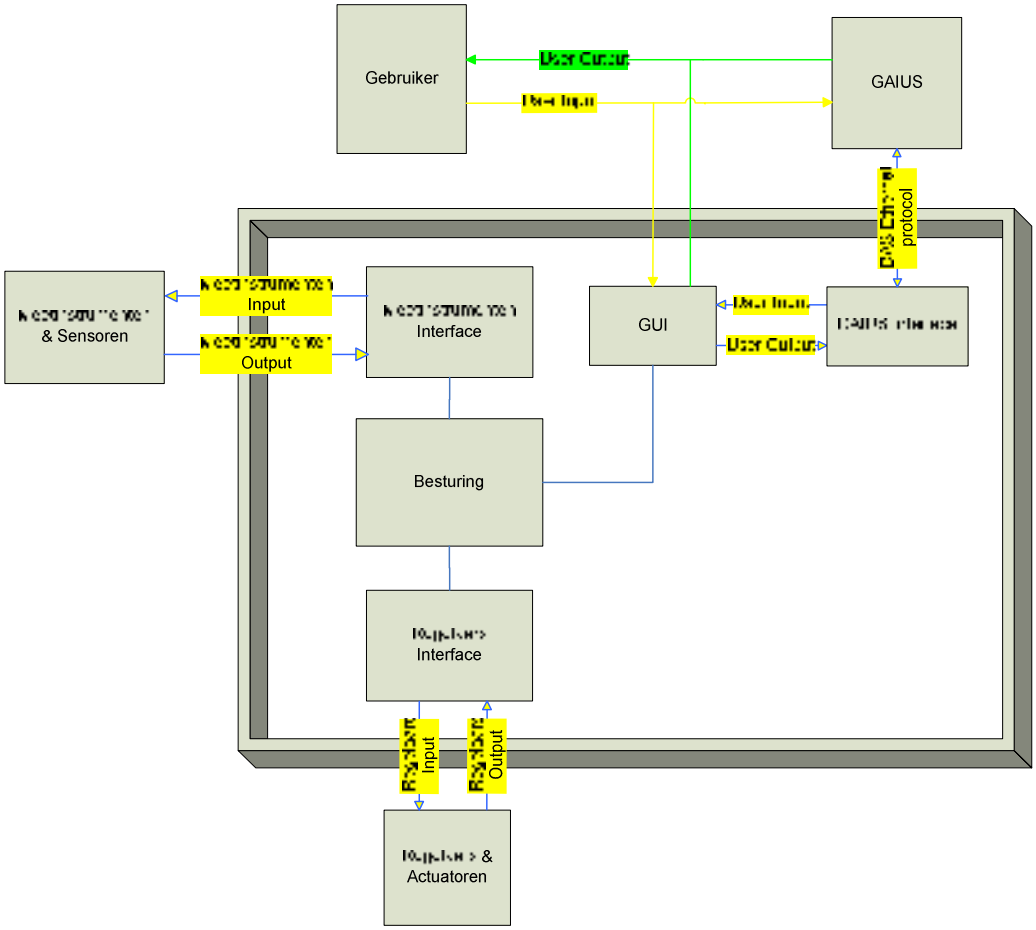
Vanuit de eisen uit hoofdstuk 4 is een functionele systeembeschrijving opgesteld. In dit hoofdstuk volgt de presentatie van deze systeembeschrijving. Elke eis uit hoofdstuk 4 is hierin terug te vinden. Het startpunt is blokschema 4.1 uit hoofdstuk 4. Deze wordt uitgebreid naar schema 5.1 en vervolgens naar het uiteindelijke functionele ontwerp. In hoofdstuk 6 volgen de systeemopties, die gebaseerd zijn op dit ontwerp.

De onderdelen “de besturing/GUI”, “sensoren & meetinstrumenten” en “regelaars & actuatoren” worden in de volgende paragrafen afzonderlijk uitgewerkt. Vergelijk blokschema 4.1. In de gepresenteerde schema’s zijn de onderdelen logische gezien gescheiden door een grens. Dat is het kader in de schema’s. Bij elk onderdeel worden de afkortingen van de eisen genoemd, die betrekking daar betrekking op hebben.

Tenslotte worden alle onderdelen samengevoegd, en komt het BACARDI-regelsysteem in zijn context te staan. In het programma van eisen waren ook eisen opgenomen voor de ijkbok. Deze worden niet besproken. Het ombouwen van de ijkbok valt namelijk niet binnen dit project.

5.2 Functionele beschrijving van de besturing/GUI

In schema 5.2 worden de belangrijkste onderdelen van de “de besturing/GUI” onderscheiden. De “meetinstrumenten interface” communiceert met de meetinstrumenten. Samen met de “GUI” levert deze informatie aan de “besturing”. Wanneer dit nodig is vertelt de “besturing” aan de “regelaars interface” dat de hoeken van de ijkbok moeten veranderen. Deze “regelaars interface” is in staat om met de regelaars van het systeem te communiceren. Via de “GAIUS interface” kan de gebruiker via het netwerk met het BACARDI-systeem communiceren. In het geval van DNW is dat netwerk GAIUS. (*Eis 1*)



Figuur 5.2: De Besturing/GUI

User Input	Commando’s hardware/software Gewenste positie voor de kop van de ijkbok
User Output	Status hardware/software Huidige positie van de kop van de ijkbok
Meetinstrumenten Input	Commando’s gebruiker Instructies van Control
Meetinstrumenten Output	α-hoek van de kop ω-hoek van de kop Status van meetinstrumenten/sensoren
Regelaars Input	Commando’s gebruiker Instructies van Control
Regelaars Output	Status van de regelaars/actuatoren/eindschakelaars

De gebruiker kan via de user input de positie van de kop van de ijkbok instellen. En daarnaast alle hard- en software parameters van het systeem veranderen. (*Eis 1.1*) Om beschadigingen aan het systeem te voorkomen wordt de user input gecontroleerd op ongeldige waarden. (*Eis 2.1*) Als output is de huidige positie van de kop, de status van het complete regelsysteem en een beoordeling van de stabiliteit op de user interface te zien. (*Eis 1.1*) De opmaak ervan wordt opgebouwd zoals beschreven in de handleiding "Architecture Description" van GAIUS. (*Eis 1.1*)

Het maakt geen verschil of er direct, of via GAIUS een verbinding wordt gemaakt met BACARDI. De gebruiker krijgt dezelfde functionaliteit. Voor een verbinding vanuit GAIUS is wel een aparte interface nodig. Deze interface haalt de user input uit de netwerkberichten, om deze vervolgens door te geven aan de user interface. De output die de user interface van de besturing krijgt wordt op zijn beurt weer over het netwerk naar de gebruiker verstuurd. Het is te allen tijde mogelijk om via het netwerk te zien hoe het systeem op dat moment gebruikt wordt. (*Eis 1.3*)

Het doel van de besturing is om de kop van de ijkbok naar een gewenste positie te regelen en vast te houden. (*Eis 7.1*) Als dit niet nauwkeurig gebeurt zijn de meetresultaten onbetrouwbaar. Om deze betrouwbaarheid te bereiken moet de besturing elke afzonderlijke component uit de regelkring goed aansturen. (*Eis 7.1*) De besturing wordt geschikt gemaakt om minimaal 2 en maximaal 4 assen aan te sturen. De aansturing en interface met de regelaar worden daarom modulair opgezet. (*Eis 6.1*)

Het meetinstrument en de regelaar zijn stand-alone te bedienen. (*Eis 1.2*) In het geval dat de besturing kapot gaat kan de gebruiker nog steeds de ijkbok direct besturen via de regelaars, of de sensor uitlezen via het meetinstrument. Daarom kan het systeem geschakeld worden tussen de modes "manual", "integrated", "computer", of "automatic. Om deze overgang traploos te laten verlopen worden de actuele instellingen van het systeem bij een overgang gecontroleerd. Hetzelfde geldt voor het starten van het systeem. (*Eis 2.2*)

Verdere eisen:

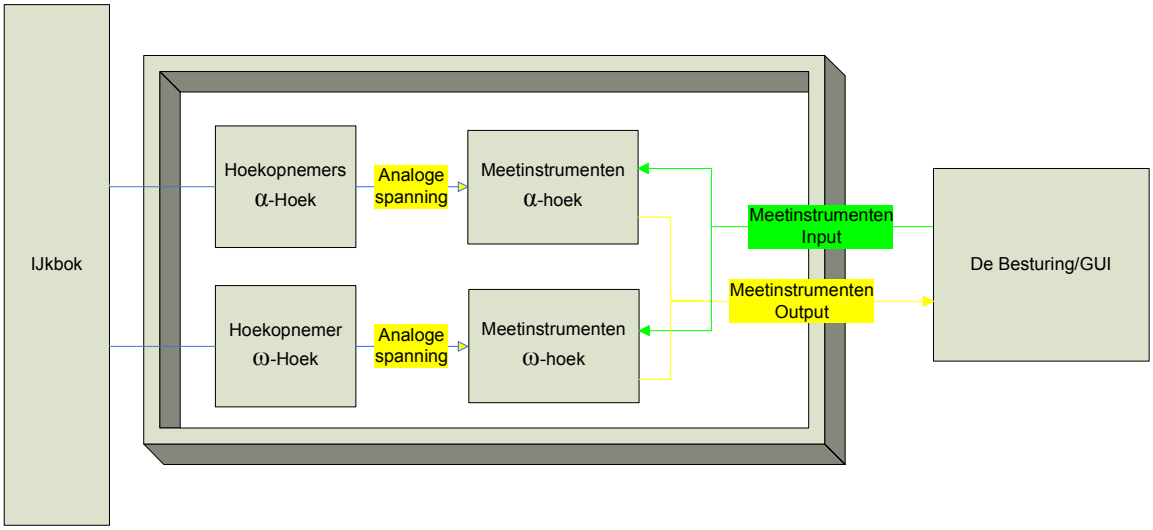
- De besturing moet voorkomen dat de veerstaven waaraan de gewichten hangen worden beschadigd (*Eis 2.3*)
- Alle meet- en regelgegevens moeten worden opgeslagen zodat de kalibratie herhaald en gecontroleerd kan worden (*Eis 3.1*)
- De besturing mag het BACARDI-systeem en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt (*Eis 5.1*)
- Voor het schrijven van de besturing in een software applicatie heeft NI's LabVIEW de voorkeur, dit softwarepakket is aanwezig bij DNW (*Randvoorwaarde 4*)

5.3 Functionele beschrijving van de sensoren & meetinstrumenten

De"sensoren & meetinstrumenten" leveren de hoek waaronder de balans staat aan "de besturing/GUI". Deze bepaalt dan of het nodig is om te corrigeren.

De ijkbok kan voor de kop 2 hoeken instellen; α en ω. α kan variëren tussen -90º en +90°. ω tussen 0-360º. Om deze hoeken te meten zijn sensoren nodig die deze grootheid kunnen meten. Deze hoekopnemers moeten dit volledige bereik kunnen bestrijken, met een waarneembare nauwkeurigheid van één duizendste graad. (*Eis 4.1*) In schema 5.3 wordt onderscheid gemaakt tussen de hoekopnemers die α meten en de hoekopnemers die ω meten.

De meetinstrumenten meten de spanningen of stromen die de hoekopnemers produceren. Deze is gerelateerd aan de gemeten grootheid. In dit geval de hoek. Het meetinstrument digitaliseert deze spanning, zodat ze verder verwerkt kan worden. Voor BACARDI moet dit zó nauwkeurig gebeuren dat het verschil hierin, gerelateerd aan één duizendste graad, waarneembaar is. (*Eis 4.2*)



Figuur 5.3: Sensoren en meetinstrumenten van het systeem

Meetinstrumenten Input	Commando's gebruiker Instructies van Control
Meetinstrumenten Output	α-hoek van de kop ω-hoek van de kop Status van meetinstrumenten/sensoren

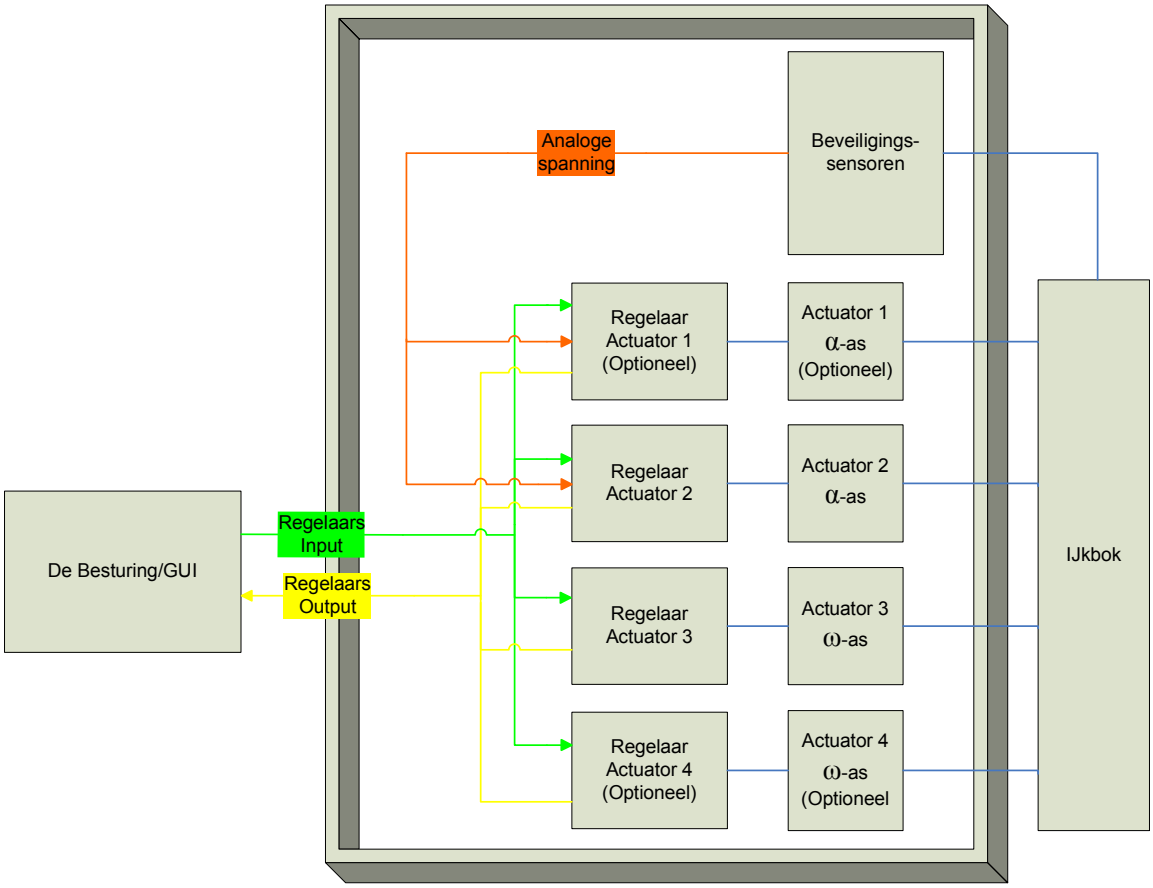
Verdere eisen:

- De gebruiker kan het meetinstrument op afstand instellen (*Eis 1.4*)
- Het meetinstrument kan de huidige manier van meten op afstand laten zien (*Eis 1.4*)
- Het meetinstrument is stand-alone te bedienen met de sensor (*Eis 1.4*)
- De besturing mag het BACARDI-systeem en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt (*Eis 5.2*)
- Bij voorkeur via een Ethernet-verbinding (*Randvoorwaarde 3*)

5.4 Functionele beschrijving van de regelaars & actuatoren

Het is de taak van de regelaars en de motoren om de ijkbok mechanisch aan te sturen. Daarbij is het belangrijk dat dit precies en vloeiend kan gebeuren. (*Eis 4.3*) De regelaars sturen op commando van "de besturing/GUI" de actuatoren aan. Hierbij is de A-as beschermd door eindschakelaars, zodat de ijkbok niet te ver gekanteld kan worden.

De precisie voor het instellen van de motoren kan vergroot worden door een tandwielvertraging na de motor aan te brengen. In schema 5.4 is echter geen versnellingsbak te zien. Dit valt buiten het ontwerp.



Figuur 5.4: Regelaars en actuatoren van het systeem

Regelaars Input	Commando's gebruiker Instructies van Control
Regelaars Output	Status van de regelaars/actuatoren/eindschakelaars

De regelaars en actuatoren zijn een bron van storing in het BACARDI-systeem. (*Eis 5.3*) Dit is niet alleen nadelig voor het systeem zelf. Het uitlezen van de balanswaarden vind namelijk ook tijdens de balanskalibratie plaats. Het beste is om de actuatoren en de regelaars op dat moment uit te schakelen.

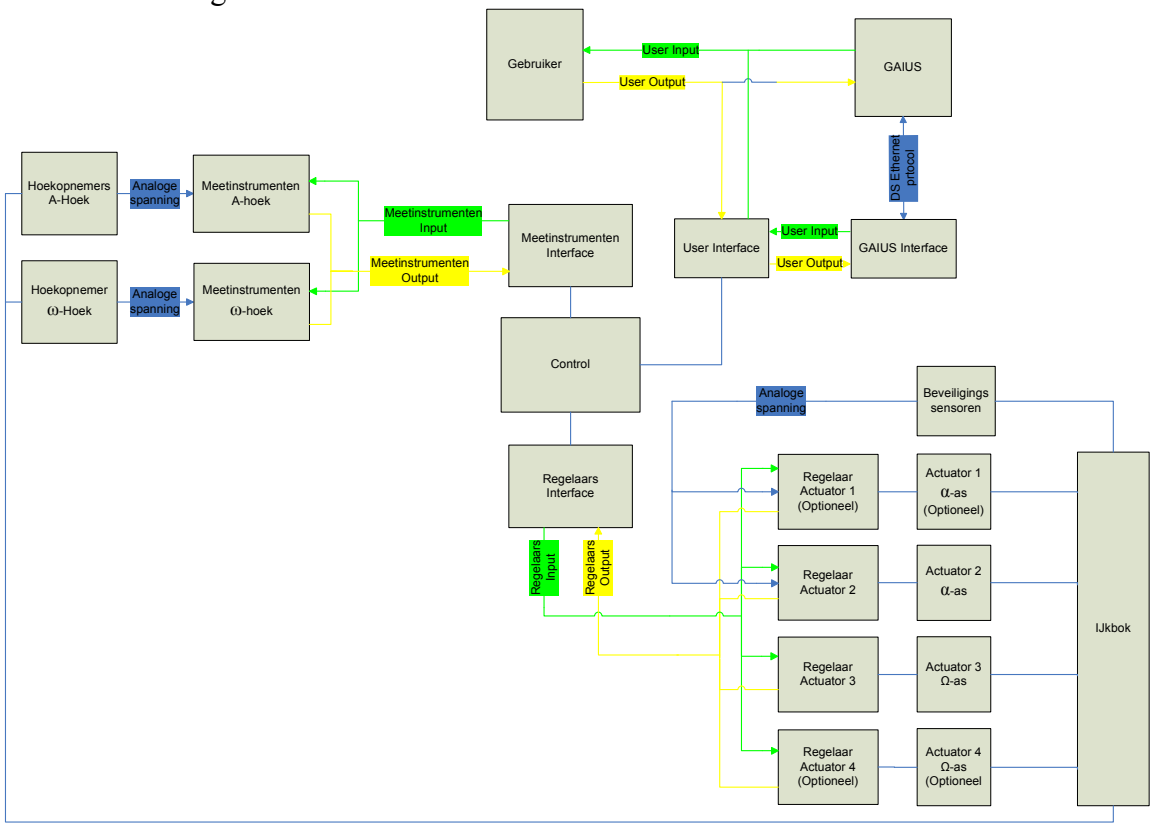
Er moet ook een stuk beveiliging ingebouwd worden. Het mag voor de gebruiker niet mogelijk zijn om de ijkbok, bedrading en andere apparatuur van het systeem onbedoeld te beschadigen. (*Eis 2.4*) Het is nodig om zowel de α-as als de ω-as te beschermen. De ω-as zal vrij kunnen draaien, maar er zal rekening moeten worden gehouden met de bekabeling. Eindschakelaars zijn al op de ijkbok aanwezig om beschadiging te voorkomen. Om ook stand-alone hiervan gebruik te maken worden ze aangesloten op de regelaars. (*Eis 1.5*) Ook zou de regelaar in staat moeten zijn om ook de veerstaven tegen overbelasting te beschermen. (*Eis 2.4*)

Verdere eisen:

- De gebruiker kan de regelaar op afstand instellen (*Eis 1.4*)
- De regelaar kan de actuele instellingen op afstand laten zien (*Eis 1.4*)
- Een traploze overgang van en naar “manual” mode (*Eis 1.2*)
- Bij keuze voor een nieuwe motor controller, kies Control Techniques (*Randvoorwaarde 2*)
- Regelaars bij voorkeur verbinding naar de besturing via Ethernet (*Randvoorwaarde 3*)

5.5 De complete functionele systeembeschrijving

Nadat alle delen afzonderlijk zijn besproken kunnen we deze samenvoegen tot de complete functionele systeembeschrijving. Deze is te zien in figuur 5.5. De algemene eisen worden nog een keer herhaald.



Figuur 5.5: De complete functionele systeembeschrijving.

User Input	Commando's hardware/software Gewenste positie voor de kop van de ijkbok
User Output	Status hardware/software Huidige positie van de kop van de ijkbok
Meetinstrumenten Input	Commando's gebruiker Instructies van Control
Meetinstrumenten Output	α-hoek van de kop ω -hoek van de kop Status van meetinstrumenten/sensoren
Regelaars Input	Commando's gebruiker Instructies van Control
Regelaars Output	Status van de regelaars/actuatoren/eindschakelaars

Eisen aan het BACARDI-systeem

- *Het BACARDI-systeem moet implementeerbaar zijn in GAIUS* (*Eis 1*)
- *Het BACARDI-systeem mag niet in staat zijn, wel/niet door toedoen van de gebruiker, om zichzelf en/of andere apparatuur te beschadigen* (*Eis 2*)
- *De acties van het BACARDI-systeem moeten herhaalbaar zijn om betrouwbaar balansen te kunnen kalibreren* (*Eis 3*)
- *De nauwkeurigheid van de balanskalibraties mag niet kleiner worden door het BACARDI-systeem* (*Eis 4*)
- *De apparatuur waaruit het BACARDI-systeem is opgebouwd mag zichzelf en/of het uitlezen van de balanswaarden niet zodanig storen dat dit tot onbetrouwbare meetresultaten leidt* (*Eis 5*)
- *De ijkbok en het BACARDI-systeem moeten toepasbaar zijn in een systeem voor SVC* (*Eis 6*)
- *Het BACARDI-ssyteem moet de ijkbok zó aan kunnen sturen dat deze een stabiele positie kan vasthouden.* (*Eis 7*)

6 Systeemopties

Hoofdstuk 6, 7 en 8 beschrijven uit welke apparatuur het BACARDI-systeem kan worden opgebouwd, en waarom voor deze apparatuur gekozen is. In dit hoofdstuk wordt alle apparatuur besproken die in overweging is genomen. In hoofdstuk 7 wordt uitgelegd waarom sommige apparatuur niet geschikt is. Het gekozen ontwerp wordt besproken in hoofdstuk 8.

In de volgende paragraaf wordt het grootste gedeelte van de apparatuur kort behandeld. Twee onderdelen waren minder eenvoudig om te kiezen. Deze worden in een afzonderlijke paragraaf behandeld, genaamd “beschikbare hoekopnemers” en “beschikbare meetinstrumenten”.

6.1 De beschikbare ijkbok, motoren, regelaars en GUI

6.1.1 De ijkbok

De ijkbok valt niet onder het BACARDI-systeem. Tijdens het project is wel gekeken of de ijkbok geschikt is voor SVC. De belangrijkste eis daarbij is *Eis 6.2*; de rol-as van de ijkbok moet 360 graden roteerbaar zijn. Zoals uit hoofdstuk 2 blijkt is dat nu niet mogelijk. Dit is wel nodig om volgens de SVC-methode te kalibreren. DNW zal moeten beslissen wat er met de ijkbok gaat gebeuren.

6.1.2 De motor op de α-as

De α-as van de ijkbok is in 1967 gedeeltelijk gemotoriseerd. Deze motor is te zien op afbeelding 2.6. De oude motor wordt nog steeds gebruikt bij balanskalibraties. Uit onderzoek van NLR medewerkers is gebleken de motor het snel schakelen met grote gewichten moeilijk aankan. Er is weinig informatie over de motor te vinden. Naar verwachting wordt onderhoud moeilijk vanwege de leeftijd. De specificaties van de oude motor zijn te vinden in de DEMAG Antriebstechnik, *Daten Bremsmotoren Typen L,K,S,J* datasheet. Het behouden van de oude motor heeft voor- en nadelen. Ook hier zal DNW over moeten beslissen.

6.1.3 Beschikbare regelaars

DNW bezit een oude Unidrive 1401 motor controller van Control Techniques. De specificaties hiervan zijn te vinden in de *Unidrive Handboek open loop configuratie*. De controller is beschikbaar gesteld voor het BACARDI-project. Er moet gekeken worden of deze controller geschikt is voor gebruik in het BACARDI-systeem. Als dit niet het geval is zal er een nieuwe controller moeten worden aangeschaft.

6.1.4 GUI

Om het BACARDI-systeem aan te sturen is een GUI geëist. Hiervoor moet een grafische applicatie geschreven worden. DNW heeft de voorkeur uitgesproken voor producten van National Instruments. LabVIEW is een bekend product van NI waarmee uitstekend een GUI geprogrammeerd kan worden. DNW heeft enkele licenties voor LabVIEW.

6.2 Beschikbare hoekopnemers

Om de hoek van de balans te kunnen meten moet er gebruik worden gemaakt van een hoekopnemer. Er zijn verschillende soorten hoekopnemers. Deze werken via andere principes. Voor de ijkbok zijn er twee hoeken die worden gemeten: α en ω. De α-hoek heeft een bereik van +90 tot -90 graden, en de ω-hoek heeft een rotatie hoek van 360 graden. Voor het meten van de hoeken zijn drie opties overwogen: een encoder, electrolevel of een QA-2000 accelerometer (ook bekend als de Q-flex).

6.2.1 De encoder

Een encoder is een elektromechanisch apparaat dat de hoekpositie van een as kan omzetten in digitale pulsen. Door een encoder te bevestigen aan het einde van de rotatieas van de ijkbok is het mogelijk om de hoek waaronder de as staat te meten. Een encoder kan gebruikt worden om zowel de α-hoek als de ω-hoek te meten. Deze twee hoeken moeten tot op een duizendste graad nauwkeurig worden gemeten (Eis *PE3.1)*. DNW heeft verscheidene soorten encoders tot zijn beschikking die deze nauwkeurigheid kunnen halen.

6.2.2 De electrolevel

De electrolevel is een absolute hoekopnemer, en meet volgens het principe van een waterpas. Een electrolevel heeft een klein hoekbereik, maar heeft in dit bereik een hele grote nauwkeurigheid[1]. De electrolevel wordt vooral gebruikt in toepassingen waar schommelingen en trillingen worden gemeten. Binnen DNW zijn er enkele electrolevels beschikbaar.

6.2.3. De Q-flex

De Q-flex is ook een absolute hoekopnemer. Deze hoekopnemer meet de hoek waaronder deze staat ten opzichte van de gravitatievector. De gemeten gravitatieversnelling is evenredig aan de hoek waaronder de Q-flex staat. Afhankelijk van de grootte van de gemeten gravitatieversnelling stuurt de Q-flex een stroom uit. Aan de hand van de uitgestuurde stroom kan worden bepaald onder welke hoek de sensor staat.

[1] Zie http://www.assi61.dsl.pipex.com/appnotes/htmlfiles/anim1.html

6.2.4 De combinatie van encoder, Q-flex en electrolevel

Voor het meten van de α- en ω-hoek is het mogelijk om een combinatie van encoder, Q-flex en electrolevel toe te passen. De ω-hoek kan worden gemeten door bijvoorbeeld de encoder, en de α-hoek door een Q-flex of electrolevel.

Daarnaast kan door een combinatie van Q-flex, electrolevel en encoder een regeling worden gemaakt waarbij de encoder wordt gebruikt voor aansturen van de actuatoren, en kan de Q-flex of electrolevel worden gebruikt voor het precies meten van de hoek

6.3 Beschikbare meetinstrumenten

Voor het uitlezen van de spanning van de hoekopnemers wordt een meetinstrument gebruikt. Omdat zowel DNW als het NLR hoge eisen stelt aan zijn meetgegevens heeft het NLR hiervoor speciaal de Conditioning Unit (CU) ontwikkeld. Naast het gebruik van de CU is het ook mogelijk om de sensor met behulp van de motorcontroller uit te lezen.

6.3.1 De Conditioning Unit

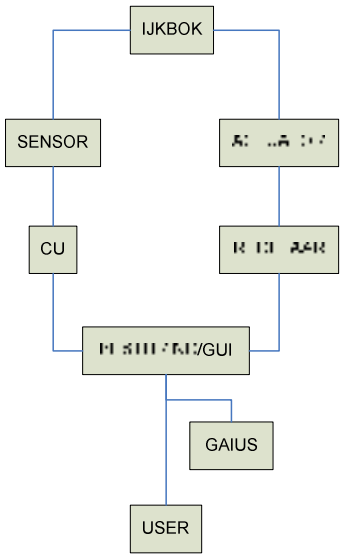
De Conditioning Unit (CU) bij DNW wordt gebruikt voor het uitlezen van allerlei sensoren. Deze sensoren kunnen temperatuuropnemers, rekstroken, drukopnemers of andere soorten sensoren zijn. De CU heeft onder andere de volgende functies:

- Voeding aanbieden aan de sensor
- Het versterken van het uitgangssignaal van de sensor
- A/D conversie van het signaal
- Het berekenen van gemiddelde- en statische waarden

De CU kan maximaal twintig keer per seconde een sensor uitlezen. De uitgelezen waarde wordt verwerkt, en er worden meerdere statische waarden[2] bepaald, zoals het gemiddelde van de laatste twintig waardes, of de maximale waarde over een interval. Deze waarden kunnen worden opgevraagd. Tevens kan het analoge signaal worden doorgelust. Het signaal van de sensor wordt dan versterkt en gefilterd, en vervolgens op één van de analoge uitgangen van de CU gezet.

[2] Zie H.Slot, C.J.J. Joosen, *Transputer Based Static Data Acquisition System at DNW*, NLR Technical Publication TP 95227 voor alle statische waarden die kunnen worden uitgelezen.

Als de CU als meetinstrument wordt gebruikt ziet het vereenvoudigde systeemschema in eruit als in figuur 6.1.



Figuur 6.1: Vereenvoudigd systeemschema waar de CU als meetinstrument wordt gebruikt.

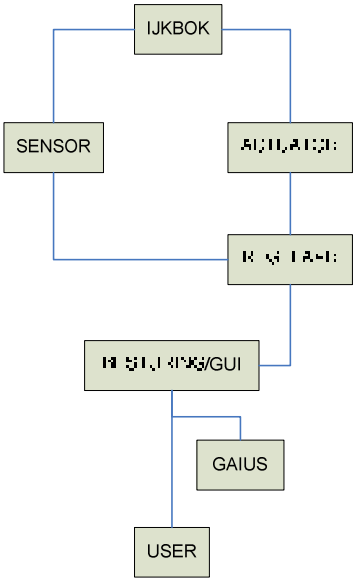
De CU meet de spanning, en geeft deze waarde door aan de BACARDI besturing. De besturing bepaalt vervolgens welke acties er moeten worden uitgevoerd, en geeft instructies aan de regelaar.

6.3.3 Interfaces voor communicatie tussen de CU en de applicatie: LabVIEW

Er zijn momenteel geen interfaces voor de communicatie tussen de CU en de LabVIEW omgeving waarin de BACARDI applicatie zal worden gebouwd. Er zal dan ook interface moeten worden gemaakt om de communicatie te kunnen realiseren. De CU communiceert via het TCP/IP protocol. De LabVIEW applicatie zal de informatie uit de TCP/IP berichten moeten halen, en zal TCP/IP berichten moeten versturen voor het verzenden van informatie naar de CU

6.3.4 Controller als meetinstrument

De regelaar heeft meerdere analoge en digitale ingangen. Eén van deze analoge ingangen kan een 16 bit A/D[3] conversie van een analoog signaal uitvoeren, net als de CU. Aan de hand van de grootte van de ingangsspanning kan de regelaar bepalen welke acties er moeten worden ondernomen. De regelaar kan de waarde ook doorgeven aan de applicatie. Zie figuur 6.2.

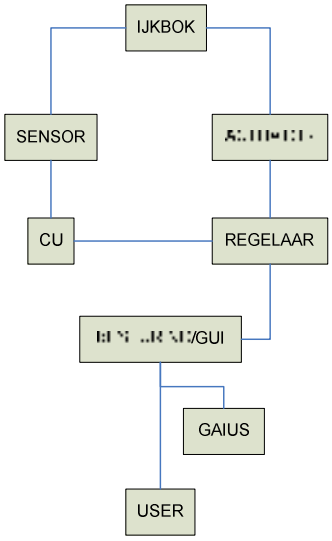


Figuur 6.2: Vereenvoudigd systeemschema waar de regelaar als meetinstrument wordt gebruikt.

6.3.5 De spanning van de CU analoog doorgelust naar de motorcontroller

De CU beschikt over een analoge uitgang. Deze analoge uitgang kan worden gebruikt om het signaal dat de sensor afgeeft via de CU door te lussen naar een ander apparaat. De CU zorgt dan voor conditionering van het signaal (filteren, versterken), en geeft dit signaal vervolgens door. Zie figuur 6.3.

[3] Zie Unidrive SP User Guide



Figuur 6.3: Vereenvoudigd systeemschema waar de regelaar de geconditioneerde spanning van de CU ontvangt.

6.3.6 Interfaces voor de communicatie tussen de motorcontroller en de applicatie: MODBUS TCP/IP, OPC of CT CommsServer

De BACARDI applicatie heeft de meetgegevens van de sensoren nodig voor het regelen van het BACARDI systeem. Voor het verkrijgen van de meetgegevens moet de applicatie kunnen communiceren met het meetinstrument en de meetgegevens kunnen ophalen. Hiervoor is een interface nodig. Voor de communicatie tussen control applicatie en de regelaar zijn er meerdere interfaces beschikbaar.

6.3.7 MODBUS TCP/IP

Zowel LabVIEW als de motorcontroller ondersteunen het MODBUS-communicatieprotocol[4].

6.3.8 Communicatie via OPC

OPC is een standaard die speciaal ontwikkeld is voor de communicatie met industriële apparaten[5]. OPC is een software interface standaard die applicaties kan laten communiceren met industriële hardware. De OPC standaard werkt met het server/client model. De OPC server is een software programma dat het hardware communicatie protocol van een PLC omzet naar het OPC protocol. De OPC client (bijvoorbeeld een HMI) is software die met de hardware wil communiceren. De OPC client gebruikt de OPC server om data van de hardware te ontvangen en commando's te verzenden naar de hardware. LabVIEW en de motorcontroller ondersteunen[6] OPC.

---

[4] Zie http://www.ni.com/ en *User Guide SM-Ethernet*
[5] Zie http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01_about/01_whatis.asp
[6] Zie http://www.controltechniques.co.in/unidrive.htm en http://www.ni.com/

6.3.9 Communicatie via CT CommsServer

Control Techniques heeft speciaal voor zijn producten de CT CommServer software ontwikkeld. Deze software maakt het mogelijk om pc applicaties te laten communiceren met de motorcontroller via de netwerk protocollen die door de motorcontroller worden ondersteund[7]. Dit stelt de applicaties in staat om data van de motorcontroller te ontvangen en naar de motorcontroller te versturen.

[7] Zie de Unidrive SP User Guide voor alle netwerk protocollen die standaard door de motorcontroller worden ondersteund.

7 Bespreking van de systeemmogelijkheden

In hoofdstuk 6 zijn alle mogelijke concepten gepresenteerd die zijn onderzocht. In dit hoofdstuk wordt besproken waarom sommige concepten niet of minder bruikbaar zijn.

De opzet van dit hoofdstuk is dezelfde als in hoofdstuk 6. Eerst wordt het grootste gedeelte van de apparatuur kort behandeld. Vervolgens worden de twee specifieke onderdelen: hoekopnemers en meetinstrumenten besproken. Bij de keuzes worden de mogelijke risico's genoemd.

7.1 Bespreking van de beschikbare ijkbok, motoren, regelaars en GUI

7.1.1 De ijkbok

Op dit moment voldoet de ijkbok niet aan *Eis 6.2*: De ijkbok en het BACARDI-systeem moeten toepasbaar zijn in een systeem voor SVC. Dit komt doordat de α-hoek maar in een klein bereik precies kan worden ingesteld. Buiten dit bereik is het niet mogelijk om de ijkbok precies in te stellen. Dit moet worden aangepast om volgens SVC te kunnen kalibreren

Voor de ijkbok zijn er twee opties: de ijkbok ombouwen, of een nieuwe ijkbok laten maken. De keuzes met voor en nadelen staan in tabel 7.1 en 7.2

De ijkbok vervangen		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Ontworpen voor SVC ✓ Ontworpen voor automatisering	× Prijs	! -

Tabel 7.1

De ijkbok ombouwen		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Prijs ✓ Ombouwen kost minder tijd	× Oude onderdelen in het systeem	! -

Tabel 7.2

Tijdens het ontwikkelen van het BACARDI-systeem zal er geen beslissing worden genomen of de ijkbok moet worden omgebouwd of moet worden vervangen. Er zal moeten worden onderzocht wat de beste oplossing is.

7.1.2 De motor op de α-as

Voor het fijnstellen van de α-hoek wordt nu een oude motor gebruikt. Er is gekeken of deze motor geschikt is voor toepassing in het BACARDI-systeem. Misschien is het beter om de motor te vervangen voor een nieuwe motor. De overwegingen voor het behouden of vervangen van de huidige motor staan in de tabel 7.3 en 7.4

Motor houden		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Motor is nog operationeel ✓ Vooralsnog geen aanpassingen nodig aan de overbrenging	× Leeftijd × Motor kan niet snel schakelen met grote gewichten aan de ijkbok × Twijfels van de medewerkers over de koeling × Weinig documentatie beschikbaar × Geen encoder	! IJkbok wordt omgebouwd, dus alle eisen ten aanzien van de motor kunnen veranderen

Tabel 7.3

Motor vervangen		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Past bij een nieuwe motor controller ✓ Terugkoppeling aanwezig op een nieuwe motor ✓ Nauwkeuriger regelbaar dan de oude motor ✓ Geschikt voor lang gebruik	× Kost geld × Opnieuw installeren van de motor op de ijkbok	! IJkbok wordt omgebouwd, dus alle eisen ten aanzien van de motor kunnen veranderen ! Het kopen van een nieuwe motor, is gebaseerd op de specificaties van de oude motor ! Motor wordt waarschijnlijk nieuw gekocht bij een nieuwe motor controller van CT ! De nieuwe motor wordt uitgerust met een incremental encoder, er moet dus rekening worden gehouden met het bepalen van een kalibratie

Tabel 7.4

Aan de hand van de voor en nadelen voor het vervangen of behouden van de motor is er de keuze gemaakt voor het vervangen van de motor. De doorslaggevende factoren zijn leeftijd, en het feit dat de huidige motor geen enkele manier van terugkoppeling heeft. Deze terugkoppeling is nodig om nauwkeuriger te kunnen regelen.

Er is een motor aangeschaft van het merk Unimotor van CT. De specificaties van deze motor staan in de *Unimotor FM Product Data, 055 to 190 frames* brochure. Deze motor beschikt over een encoder die voor de terugkoppeling naar de regelaar zorgt.

7.1.3 Beschikbare regelaar

Voor het aansturen en regelen van de motoren zijn motor controllers nodig. Er is een oude Unidrive 1401 motor controller van CT beschikbaar gesteld voor het BACARDI-systeem. Deze controller kan worden gebruikt, maar heeft beperkte mogelijkheden. Daarom is er ook gekeken naar nieuw model controller, de Unidrive SP 1406 van CT. De voor en nadelen van de oude controller houden of een nieuwe kopen staan in tabel 7.5 en 7.6 beschreven.

Oude Unidrive 1401 motor controller gebruiken		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Kost niets ✓ Geen levertijd	× Leeftijd × Kan niet genoeg stroom leveren om de oude motor aan te sturen × Ethernet-verbinding niet mogelijk × Niet programmeerbaar, dus minder flexibel	! -

Tabel 7.5

Nieuwe Unidrive SP 1406 motor controller kopen		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Genoeg vermogen om minimaal de oude motor aan te sturen ✓ Ethernet-verbinding aanwezig ✓ Flexibel ✓ Geschikt voor lang gebruik	× Prijs × Levertijd	! De motor controller zal een EMC-keurmerk bezitten; maar of dit goed genoeg is voor toepassing in het BACARDI-systeem kan niet worden geschat ! Andere bedrijven die motor controllers leveren zijn niet overwogen door de projectgroep ! IJkbok wordt omgebouwd, dus alle eisen ten aanzien van de motor controller kunnen veranderen

Tabel 7.6

Er is gekozen voor het aanschaffen van een nieuwe controller. De nieuwe controller biedt meer communicatiemogelijkheden en kan meer vermogen leveren[8]. Wanneer deze motor controller goed bevalt kunnen er meerdere gekocht worden om de ijkbok volledig te motoriseren. De aankoop hiervan valt buiten dit project.

7.1.4 Automatiseringsmodule bij nieuwe motor controller

Het is mogelijk om op de nieuwe motorcontroller een automatiseringsmodule te plaatsen. Deze module breidt de mogelijkheden van de motor controller uit. Voor het BACARDI-systeem is dan ook gekozen om een module aan te schaffen. Er zijn drie verschillende typen modules, waarvan de mogelijkheden onderling verschillen[9]. Er kan maar één automatiseringsmodule op een motor controller geplaatst worden. De overwegingen voor het kiezen van een module staan in tabel 7.7, 7.8 en 7.9

EZ-motion		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Erg toegankelijk	× Beperkte mogelijkheden	! Geen ervaring aanwezig

Tabel 7.7

[8] Zie de *Unidrive SP User Guide* voor specificaties en mogelijkheden
[9] Zie http://www.controltechniques.com/CTcom/products/drive_options/intelligence/overview.aspx voor meer informatie over de mogelijkheden van de verschillende modules

SM-Applications		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Volledige functionaliteit	× Minder toegankelijk × Extra kosten voor aanschaf licentie ontwikkelomgeving	! Geen ervaring aanwezig

Tabel 7.8

SM-applications Lite		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Minder toegankelijk	× Beperkte programmeer mogelijkheden	! Geen ervaring aanwezig

Tabel 7.9

Uiteindelijk is er is gekozen voor de EZ-motion module. De toegankelijkheid is hier boven de beperkte mogelijkheden gesteld, omdat binnen DNW geen enkele ervaring aanwezig is met het programmeren van deze modules. Tijdens dit project wordt gekeken of deze modules geschikt zijn voor gebruik in het BACARDI-systeem.

7.1.5 De besturing/GUI

Voor het ontwikkelen van de BACARDI-besturing en GUI is het software pakket LabVIEW beschikbaar gesteld. LabVIEW is een programmeeromgeving waarin grafisch een applicatie gemaakt kan worden. In tabel 7.10 staan de voor- en nadelen van het gebruik van LabVIEW voor de BACARDI-applicatie.

LabVIEW		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Grote rekenkracht ✓ Flexibel ✓ Ervaren programmeers aanwezig bij DNW ✓ Projectleden zelf ook enige ervaring	× Uitgebreide taal	! -

Tabel 7.10

7.2 Bespreking van de beschikbare hoekopnemers

De mogelijke hoekopnemers die zijn overwogen zijn: een encoder, Q-flex, electrolevel, of een combinatie van deze drie. Zie tabel 7.11 tot en met 7.14

De encoder als hoekopnemer		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Kan een hoge nauwkeurigheid behalen ✓ Encoder is ongevoelig voor storing ✓ Een absoluut encoder is een absolute hoekopnemer	× De encoder kan de doorbuiging en de verwringing van de staak niet meten doordat de encoder niet rechtstreeks op het ijklichaam wordt bevestigd. Zie ook Bijlage 2: Foutenanalyse bij gebruik accelerometer en encoder	! -

Tabel 7.11

De Q-flex als hoekopnemer		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Hoge nauwkeurigheid ✓ DNW heeft veel ervaring met de Q-flex ✓ Kan rechtstreeks op het ijklichaam worden geplaatst. ✓ Groot bereik	× Gevoelig voor EM storingen × Duur in aanschaf × Beperkt bereik	! -

Tabel 7.12

De electrolevel als hoekopnemer		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Geschikt voor het meten van afwijkingen van een bepaalde hoek	× Heeft een klein meetbereik	! -

Tabel 7.13

Een combinatie van hoekopnemers		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Door het toepassen van een combinatie kunnen eventuele gebreken van een hoekopnemer worden gecompenseerd door een andere hoekopnemer.	✗ Door een combinatie wordt het systeem complexer, met een grotere kans op fouten en afwijkingen.	! Door het toepassen van meerdere hoekopnemers neemt de complexiteit van de regellus toe.

Tabel 7.14

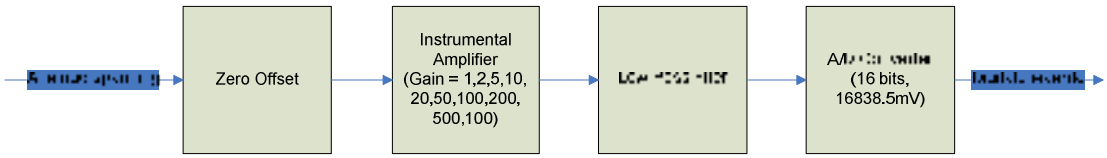
De Q-flex is de beste keus van de mogelijke hoekopnemers. De overige hoekopnemers hebben wel de benodigde nauwkeurigheid, maar hebben niet het bereik dat benodigd is voor het BACARDI-systeem, of kunnen niet de fouten meten die ontstaan door doorbuiging en verwringing.

7.3 Bespreking van de beschikbare meetinstrumenten

Voor het uitlezen van het meetinstrument zijn er twee mogelijkheden overwogen: de Conditioning unit en de motorcontroller. De keuze van het meetinstrument is gemaakt door de voor- en nadelen tegen elkaar af te wegen.

7.3.1 De Conditioning unit

De spanning die de sensor afgeeft wordt door de CU verwerkt. Het signaal doorloopt de stappen weergegeven in figuur 7.1:



Figuur 7.1: De stappen die door het signaal worden doorlopen.

In het schema is te zien dat de analoge spanning die de sensor afgeeft meerdere bewerkingen ondergaat. Elk van deze bewerkingen voegt een fout toe aan het signaal. Omdat er een hoge nauwkeurigheid van het signaal wordt gevraagd zijn deze fouten van invloed op de uiteindelijke waarde van de spanning.

De grootste beperkingen van de CU zijn dat de versterking tot ±10V.0000 gaat, en dat het resulterende signaal van analoog naar digitaal wordt geconverteerd met een ±16383.5mV 16 bits A/D converter. Dit houdt in dat er maximaal 2^{16} /16.3835 •10.0000 ≈ 40000 verschillende spanningen kunnen worden gemeten bij een bepaalde versterking. Ook houdt dit in dat de minimale spanningsverandering die de A/D converter kan meten (2 • 16383.5mV) / 65536 ≈ 0.5mV is. Dit betekent echter niet dat de minimale ingangsspanning die de CU kan meten 0.5mV is, want het inkomende signaal wordt eerst

versterkt. Met een maximale versterking van 1000 kan de CU spanningen tot op 0.5µV meten. Het bereik van het ingangssignaal is dan wel beperkt tot
0.5µV • 40000 = 20.000 mV.

Hoewel de CU een precies meetinstrument is heeft het dus zijn beperkingen. Deze beperkingen moeten in overweging worden genomen bij het ontwerpen van het BACARDI-systeem.

De overige voor- en nadelen van de CU worden in tabel 7.15 weergegeven.

De Conditioning unit als meetinstrument		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Hoge nauwkeurigheid ✓ DNW heeft veel ervaring met de CU ✓ De CU kan naast de gemeten waarde op een bepaald tijdsinterval ook meerdere statische waardes leveren ✓ Door middel van een ethernet verbinding met de cu is het mogelijk om meerdere statische waardes op te vragen	× Door de 16 bits A/D converter wordt de nauwkeurigheid binnen een bepaald bereik van het gemeten signaal beperkt	! -

Tabel 7.15

7.3.2 De motorcontroller

De motorcontroller kan zowel signalen meten als de motor aansturen. Het is dus mogelijk om de controller als meetinstrument te gebruiken. Er zijn ook meerdere manieren om de spanning van de sensor aan te bieden aan de controller: de sensor kan rechtstreeks op één van de analoge ingangen van de controller worden aangesloten, of de controller kan de spanning van de sensor via de CU ontvangen.

<u>De sensor rechtstreeks op de regelaar</u>

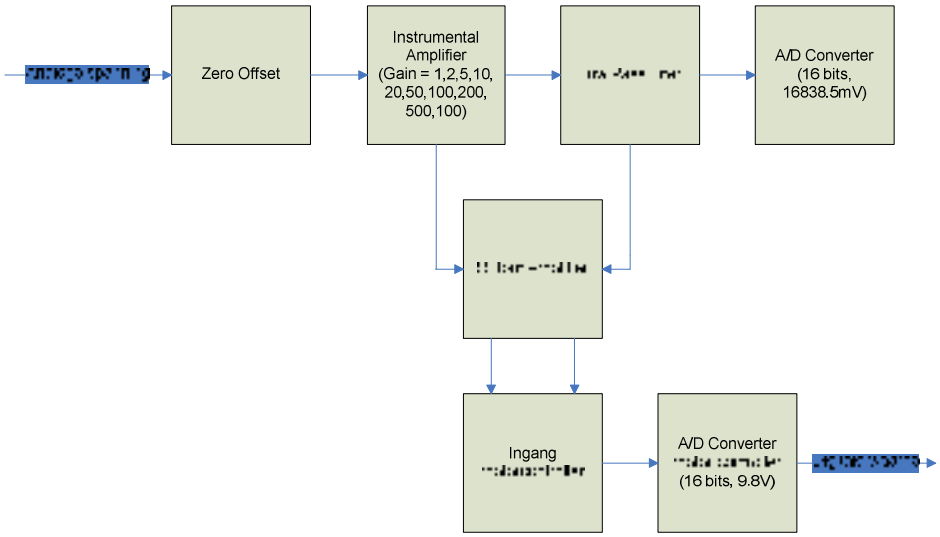
De sensor wordt rechtstreeks aangesloten op de controller. De analoge ingang van de controller heeft een 9.8V 16 bits A/D converter. Deze A/D converter is niet zo precies als de A/D converter van de CU[10]. Doordat de hoekopnemer nu rechtstreeks met de controller is verbonden wordt er een apparaat uit de regelkring gehaald. Hierdoor wordt

[10] Zie de specificaties van de A/D converter in de *Unidrive SP User Guide.* Ook is er contact opgenomen met Control Techniques met de vraag hoe nauwkeurig de controller spanningen kan meten. Hier is vertelt dat de controller spanningen tot op een millivolt kan meten. Dit is later ook nog experimenteel vastgesteld.

de kans op fouten in de regellus verkleind. De regeling is op deze manier niet meer afhankelijk van instructies van de BACARDI applicatie.

De spanning van de CU analoog doorgelust naar de motorcontroller

Als de spanning via de CU wordt doorgelust naar de regelaar kan de regelaar het geconditioneerde signaal lezen. Het signaal zal eerst versterkt en eventueel gefilterd worden door de CU. Vervolgens zal dit signaal via een output amplifier worden doorgegeven aan de regelaar. Zie figuur 7.2



Figuur 7.2: De stappen die door het signaal worden doorlopen als het signaal via de CU wordt doorgelust.

Door het analoge signaal aan te bieden op de ingang van de motorcontroller kan deze de geconditioneerde spanning meten. Doordat het signaal zowel gefilterd als versterkt is kan de motorcontroller nauwkeuriger de hoek bepalen waaronder de hoekopnemer staat dan wanneer de spanning van de hoekopnemer rechtstreeks op de motorcontroller wordt aangesloten.

In het tabel 7.16 staan de overige voor- en nadelen die tegen elkaar zijn afgewogen.

De motorcontroller als meetinstrument		
Voordelen	Nadelen	Risico's
✓ Er is een directe verbinding tussen controller en sensor. Dit zorgt ervoor dat de controller altijd op de hoogte is van de huidige status ✓ De motorcontroller kan aan de hand van de gemeten waardes meteen reageren op veranderingen, en hoeft niet te wachten op commando's van de applicatie	× De controller kan geen duizendste graad meten × De controller is niet zo nauwkeurig als de CU	! -

Tabel 7.16

Het gebruik van de CU als meetinstrument heeft de voorkeur gekregen boven het gebruik van de motorcontroller. Nauwkeurigheid is één van de belangrijkste eisen aan het BACARDI-systeem. Ook is de ervaring met de CU binnen DNW een zwaar wegende factor.

7.3.3 Regelaars Interface

Voor het communiceren met de motorcontroller zijn er drie interfaces overwogen. Deze drie interfaces worden ondersteund door de motorcontroller. Elk soort inteface heeft zijn eigen toepassingen. In tabel 7.17 tot 7.19 staan de voor- en nadelen van het gebruik van de drie interfaces.

MODBUS/TCP	
Voordelen	Nadelen
✓ Eenvoudig in opzet ✓ Veel gebruikt ✓ Snel	× Minder eenvoudig te implementeren in LabVIEW

Tabel 7.17

CT CommsServer	
Voordelen	Nadelen
✓ Uitgebreide mogelijkheden	✗ Geen kennis bij de projectgroep aanwezig ✗ Minder flexibel

Tabel 7.18

OPC-Server	
Voordelen	Nadelen
✓ Industriële standaard ✓ Uitgebreid	✗ Niet noodzakelijk, de motorcontrollers hebben een Ethernet-verbinding

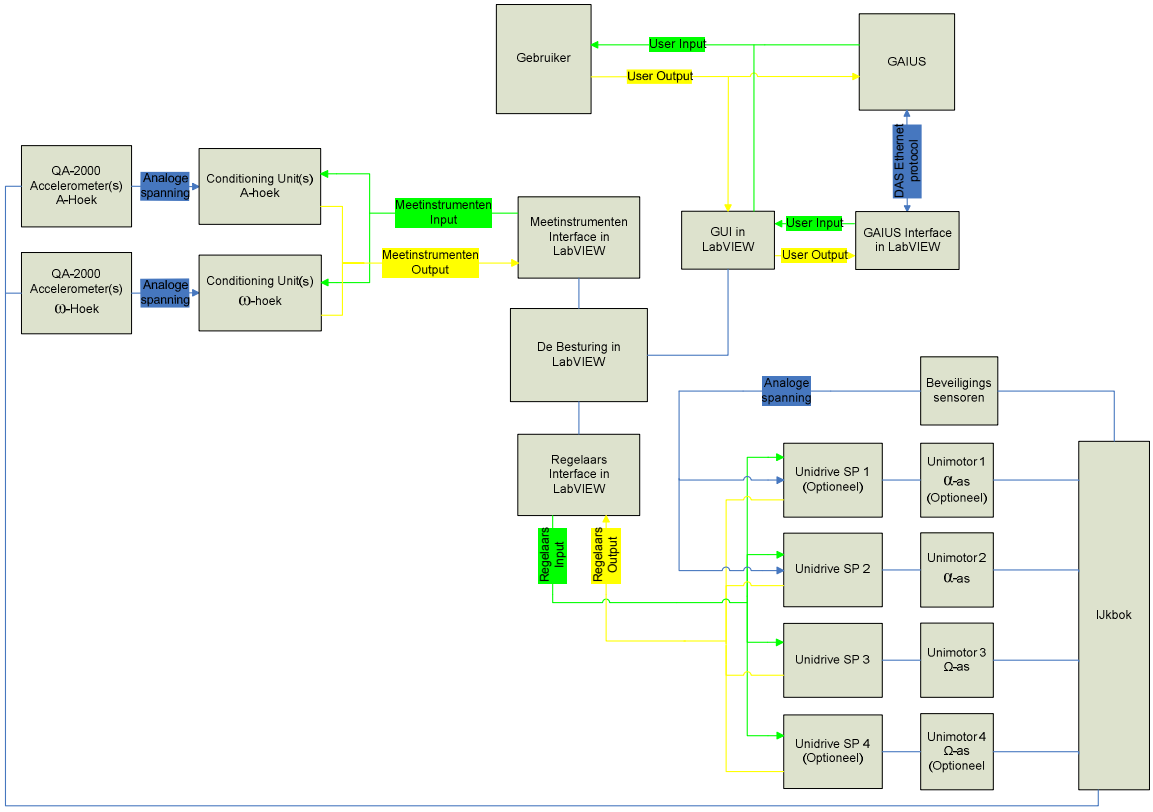
Tabel 7.19

Uiteindelijk is er gekozen voor het gebruik van MODBUS/TCP als interface voor het communiceren met de controller. De andere twee mogelijkheden worden vooral toegepast bij grote systemen waarbij grote aantallen controllers moeten worden aangestuurd. Voor dit systeem zou dit te complex zijn.

8 Het voorlopige ontwerp

In de vorige hoofdstukken is beschreven welke apparatuur de voorkeur verdient voor gebruik in het BACARDI-systeem. Nu wordt besproken welke plek deze apparatuur krijgt in het systeem.

Eerst wordt functionele systeembeschrijving uit hoofdstuk 5 ingevuld. Zie figuur 8.1. Daarna worden de beperkingen opgesomd die het gebruik van deze apparatuur met zich meebrengt. Dit zijn bekende gebreken van de apparatuur. Tenslotte worden ook de risico's opgesomd. Risico's zijn onbekende factoren van deze apparatuur. Aan de hand hiervan kunnen aanvullende onderzoeken opgezet worden.



Figuur 8.1: Het voorlopig systeem ontwerp

Beperkingen

CU
- Beperkt bereik wanneer gemeten wordt bij een hoge versterkingsfactor
- Beperkte bewerking van de parameters op afstand van de Mk III
- Voor elke sensor is een aparte CU nodig

Motor
- Er wordt een incrementaal encoder gebruikt, dus moet voor het gebruik van het systeem de motor gekalibreerd worden

Q-Flex
- Het spanningsverschil/graad wordt kleiner naarmate de Q-flex verder in zijn bereik komt vanwege zijn sinusvormige uitgangssignaal
- Eén Q-flex heeft een bereik van maximaal ±90º, er zijn dus minimaal 2 Q-flexen nodig

Risico's

Q-Flex
- Nauwkeurigheid niet precies bekend
- Storingsgevoeligheid Q-flex onbekend
- Nauwkeurigheid weerstand onbekend
- Storingsgevoeligheid bekabeling van Q-flex naar CU onbekend

Conditioning Unit
- Nauwkeurigheid van de CU zijn twijfels over

Motor Controller
- Elektromagnetische interferentie onbekend, bezit wel een keurmerk
- Mogelijkheden EZ-Motion module nog niet precies in bekend
- Mogelijk niet genoeg vermogen wanneer de ijkbok is aangepast

Motor
- Storingsgevoeligheid onbekend
- Mogelijk niet genoeg vermogen wanneer de ijkbok is aangepast

9 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies die na het BACARDI-project kunnen worden getrokken, met betrekking tot het automatiseren van de ijkbok, ermee rekening houdend dat de SVC-methode in de toekomst zal worden toegepast, zijn te lezen in paragraaf 9.1 De aanbevelingen die daarbij horen zijn te lezen in paragraaf 9.2.

9.1 Conclusies

- Voor het meten van de hoeken van de ijkbok is de combinatie van een QA-2000 accelerometer en een Conditioning Unit het meest geschikt.
- De ijkbok moet worden omgebouwd of worden vervangen; momenteel kan de ijkbok niet worden gebruikt voor SVC.
- De huidige motor op de alf-as van ijkbok is ongeschikt voor gebruik in een automatiseringssysteem.
- De nieuwe unimotor is wel geschikt voor gebruik in een automatiseringssysteem.
- De Unidrive SP 1406 motorcontroller van Control Techniques is op afstand via ethernet te besturen en geschikt voor gebruik in een automatiseringssysteem.
- De veerstaven die momenteel worden gebruikt voor het bevestigen van gewichten aan het ijklichaam zullen niet bruikbaar zijn voor het SVC. Er moet een nieuwe methode worden bedacht voor het bevestigen van gewichten aan het eiklichaam.
- Door de hoge meetnauwkeurigheid die wordt gevraagd voor het meten van de hoek is het bereik dat de CU kan meten beperkt.
- Het bereik van de QA-2000 accelerometer is voor praktisch gebruik is kleiner dan ± 90º.
- Het is mogelijk om met LabVIEW de gehele BACARDI applicatie te maken.
- Het is mogelijk om met LabVIEW interfaces te creëren voor de communicatie tussen de BACARDI applicatie, de CU en de motorcontroller.
- Door de huidige aandrijving van de alfa-as wordt de α-hoek doorlopen met een niet lineaire hoeksnelheid (zie bijlage 3)
- De eindschakelaars die momenteel op de ijkbok zijn bevestigd kunnen worden aangesloten op de motorcontroller om te ijkbok tegen beschadiging te kunnen beschermen.

9.2 Aanbevelingen

- Er zal moeten worden vastgesteld wat exact de eisen zijn aan een SVC systeem.
- Het is niet duidelijk of de Q-flex (QA-2000-010 en QA2000-030) nauwkeurig genoeg zijn voor het meten van hoeken tot op een duizendste graad. Dit zal moeten worden onderzocht.
- Onderzoek de storingsgevoeligheid van de Q-flex bij de motorcontroller, tl verlichting, computers, etc
- Onderzoek hoeveel storing de motor en motorcontroller genereren, en of dit van invloed is op de gebruikte apparatuur in het systeem
- Onderzoek de invloed van de extra versnelling veroorzaakt door de beweging van de arm van de ijkbok wanneer deze beweegt.
- Bekijk of de beperkingen van de CU van invloed zijn op het uitvoeren van SVC.
- Zorg voor het veilig overschakelen van de verschillende modes van de applicatie, om te voorkomen dat de ijkbok wordt beschadigd.
- Onderzoek de mogelijkheid voor het gebruik van een encoder op de rol as. Bij de huidige ijkbok is het niet mogelijk om een encoder te gebruiken. Als de ijkbok wordt omgebouwd of vervangen is misschien het gebruik van een encoder voor het meten van de hoek van de rol geprefereerd boven het gebruik van een Q-flex. Hier moet wel rekening worden gehouden met doorbuiging, etc.

Literatuurlijst

H.D. Hoksbergen en R.E.M. van der Kamp, *Modificatie van het Balans Calibratie Systeem*, Marknesse, 1994, DNW.

P.A. Parker, M. Morton, N. Draper, W. Line, *AIAA-2001-0170 A Single-Vector Force Calibration Method Featuring the Modern Design of Experiments*, Hampton, Virginia, 2001, NASA Langley Research Center.

National Instruments, *LabVIEW™ Basics I Introduction Course Manual*, May 2006 Edition, Part Number 320628P-01.

National Instruments, *LabVIEW™ Basics II Development Course Manual*, May 2006 Edition, Part Number 320629P-01.

DNW, *Use of serve accelerometers for the measurement of incidence of windtunnel models*, NLR Memorandum AW-84-008 U, September 1984

C.G.M. Jutten, H.Slot, P.R. Faasse, *Requirements specificatie DAS-bus upgrade to Ethernet*, NLR-Memorandum ASAQ-2006-081, November 2007

H.Slot, C.J.J. Joosen, *Transputer Based Static Data Acquisition System at DNW*, NLR Technical Publication TP 95227 L.

V. Ansem, B. Smulders, *GAIUS: Realisation of a Generic Automated Integrated Universal System for wind tunnels and a pilot implementation for DNW*, Version 1.3 status concept, november 2007.

R.K, v/d Draai, D.Krack, I Philipsen, A.H. Smith, C. Wagner, *Introduction to FIASCO*, Final Version 1.5, May 9 2005, DNW.

Imtech, *UI Style Guide for DNW*, Project 005411/GAIUS, Version 1.0, 27 September 2007.

H. Schutte, J.F. Baljeu, M.J.M.G. v. Gennip, *Calibration of six-component strain gauge balances*, Amsterdam, juni 1971

Sundstrand Data Control, *Instruction Manual Q-Flex accelerometers*, Redmond, Januari 13, 1978, Document 012-0293-001

S. A. Foote, D.B. Grindeland, *Model QA3000 Q-FLEX Accelerometer High Performance Test Results*, IEEE AES Magazine, june 1992

T. Wildi, *Electrical Machines, Drives and Powersystems*, Pearson Education International, 2006. ISBN 0131969188

J.F. Kurose, K.W. Ross, *Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Internet*, Pearson Education International, 2006. ISBN 0201477114

Leroy Somer, *SM Applications, Solutions Module for UNIDRIVE SP User guide*, Issue Number 5, www.leroy-somer.com

Control Techniques B.V., *Short Form Guide Unidrive SP*, Issue Number 2, May 2007, www.controltechniques.com

Control Techniques B.V, *Unidrive SP size 1 (0.75kW to 5.5kW) Electromagnetic Compatibility Data*, UNISP1EMCi6.doc, 08/03/06, http://emersonmotioncontrol.com/download_usa/manuals/UNISP1EMCi6.pdf .

Control Techniques B.V., *Unidrive SP Handboek open loop configuratie*, Versie 3P, mei 2006, Sliedrecht.

Control Techniques B.V., *Unidrive Handboek open loop configuratie*, Versie 5, oktober 2004, Sliedrecht.

Control Techniques B.V., *User Guide SM-Ethernet*, Issue 5, Part Number 0471-0047-05, juli 2006, Sliedrecht.

Control Techniques B.V., *Unimotor fm Product Data 055 to 190 Frames,* IM/ 0143/MI Iss3, 2005

DEMAG Antriebstechnik, *Daten Bremsmotoren Typen L,K,S,J*, 10.78, 200 041 84, 714 IS 911

DEMAG Antreibstechnik, *DEMAG-Getriebemotoren 92T*, CL 170 92T 781, 201.072.84

Bijlagen

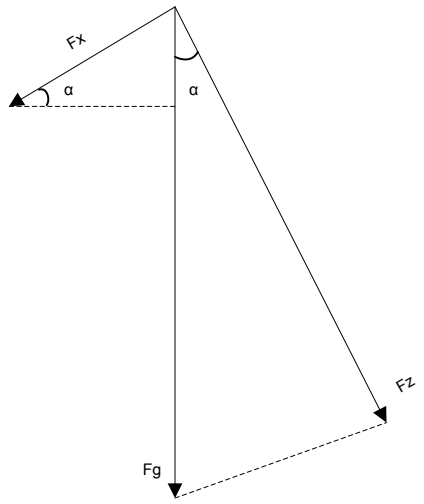
Bijlage 1: De benodigde nauwkeurigheid van de hoek

Er is uitgegaan van de volgende drie balansen: W605, W608 en W616. Zie tabel B1.1voor de maximale krachten die deze balansen kunnen meten, en figuur 2.4 voor de richting van deze krachten:

	F_x(N)	F_y(N)	F_z(N)
W605	12500	12500	30000
W608	20000	6250	50000
W616	6500	10000	20000

Tabel B1.1

Als er gewichten aan de balans worden bevestigd voor de kalibratie van F_z, en de α-hoek waaronder de balans staat niet precies nul graden is, zal de zwaartekracht worden verdeeld over twee vectoren: F_x en F_z. Zie figuur B1.1 Hierdoor zal de kracht die door F_z wordt waargenomen kleiner zijn aan de zwaartekracht, en is F_x niet gelijk aan nul, terwijl dit wel wordt verondersteld.



Figuur B1.1: De verdeling van F_g over F_x en F_z

Het is echter onmogelijk om de hoek precies nul graden krijgen, er is altijd een kleine afwijking. Daarom is de eis gesteld dat de afwijking die door een balans wordt gemeten maximaal 1‰ van zijn Full Scale (FS) waarde mag zijn.

Voor de W605 balans houdt dit in dat de maximale fout van F_x 12500 / 1000 = 12.5N mag zijn. De hoek waaronder deze fout optreedt is:

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{0.001 \bullet Fx_{\max}}{Fz_{\max}} = \arcsin \frac{12.5}{30000} = 0.024°$$

Voor de W608 balans treedt een fout groter dan 1‰ bij een hoek van:

$$\alpha = \arcsin \frac{20}{50000} = 0.023°$$

En bij de W616:

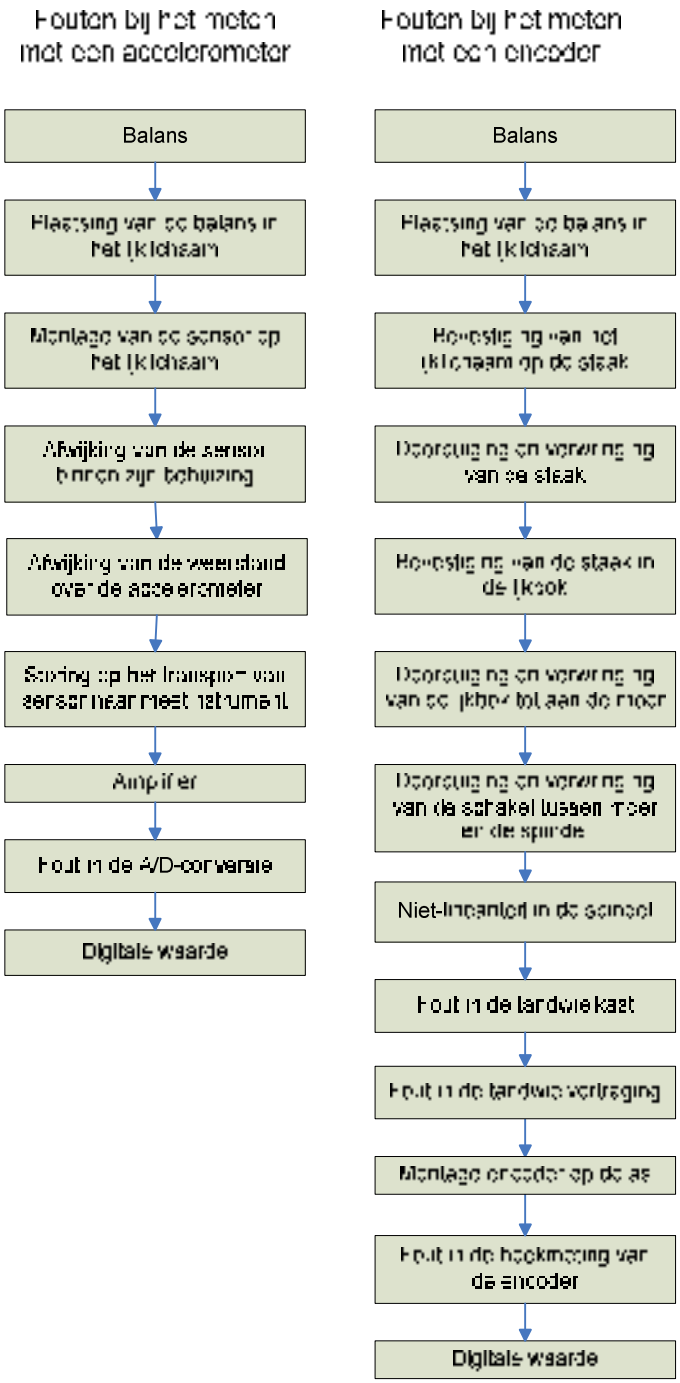
$$\alpha = \arcsin \frac{6.5}{20000} = 0.019°$$

Dit zijn de maximale hoeken die mogen optreden als er gewichten aan de balans worden bevestigd voor het kalibreren van de F_z vector. Als de balans een kwart slag wordt gedraaid voor het kalibreren van de F_y vector zal de α-hoek groter mogen zijn, omdat er met kleinere krachten wordt gewerkt.

Om te voorkomen dat de hoek groter wordt dan de berekende maximale waarde, zal de hoek tot op een duizendste graad moeten worden gemeten. Als dit niet gebeurd, dan is er het risico dat de maximale waarde van de hoek wordt overschreden, terwijl dit niet wordt gemeten.

Bijlage 2: Foutenanalyse bij gebruik accelerometer en encoder

Bij het meten van de hoeken kunnen we gebruikmaken van een accelerometer of een encoder. Beide opties heeft een reeks fouten tot gevolg. In figuur B2.1 zijn deze fouten voor beide opties in een blokschema weergegeven. Als voorbeeld voor de hoek is de fijnstelling van de A-as genomen. Zie ook paragraaf 6.2

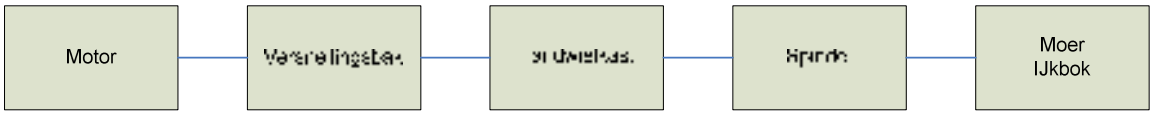


Figuur B2.1: Foutenreeks bij het meten met een accelerometer en een encoder

Bij het gebruik van een encoder is het aantal fouten waarmee rekening moet worden gehouden hoger. Dit geldt vooral bij het meten van de fijnstelling van de A-as. Wanneer we de grove A-as als voorbeeld zouden nemen zou het aantal fouten lager zijn. Ook is de fout bij het bevestigen van de staak in de ijkbok een risico, wanneer dit verkeerd gebeurt zal dit een grote systematische fout opleveren.

Bijlage 3: Overbrenging van de ijkbok

Deze bijlage gaat over de overbrenging van de oude motor naar de kanteling van de ijkbok. De overbrenging bestaat uit een aantal onderdelen en de verbindingen hiertussen. Deze overbrenging is weergegeven in een blokschema in figuur B3.1. De overbrenging is omcirkeld in figuur B3.2.

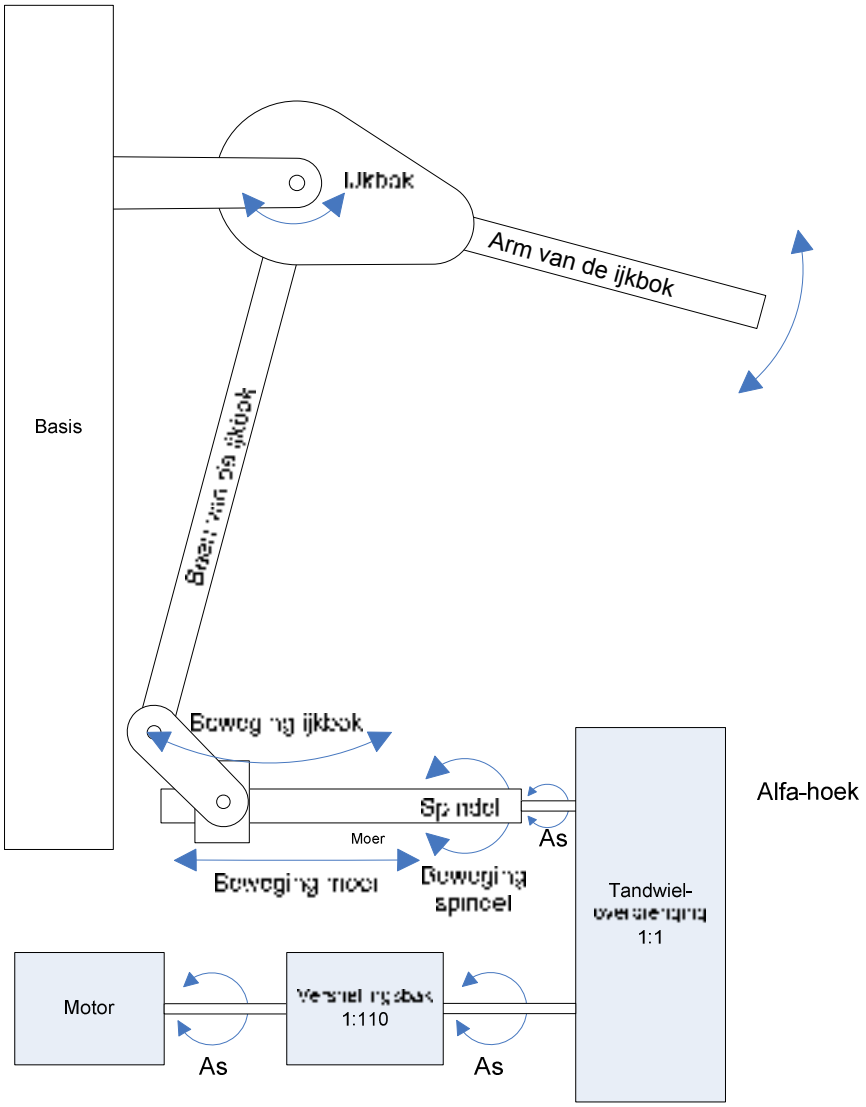


Figuur B3.1: Schematisch overzicht van de overbrenging van de oude motor naar de kanteling van de ijkbok

Figuur B3.2: Foto van de overbrening van de oude motor naar de kanteling van de ijkbok

De motor (Demag bremsmotor 19/8 K8.2 of ook 19/8 K 8/2) drijft een vertragingskast aan.
De vertragingskast (Demag Getriebemotor: 92 T) verlaagt de rotatiesnelheid van de motor, met een verhouding van 110:1.
Een tandwieloverbrenging brengt de rotatie-beweging van de vertragingskast over naar de spindel. De tandwieloverbrenging heeft een verhouding van 1:1.
De tandwieloverbrenging drijft een spindel aan. De spoed van de spindel is 6mm per omwenteling. De spindel is 376 mm lang.
De moer wordt over de spindel heen getrokken om de ijkbok in zijn geheel te kantelen. De spindel moet 376 / 6 ≈ 62 omwentelingen maken voordat de moer volledig over de spindel heen is getrokken. De moer beweegt horizontaal over de spindel.
De ijkbok maakt een roterende beweging.

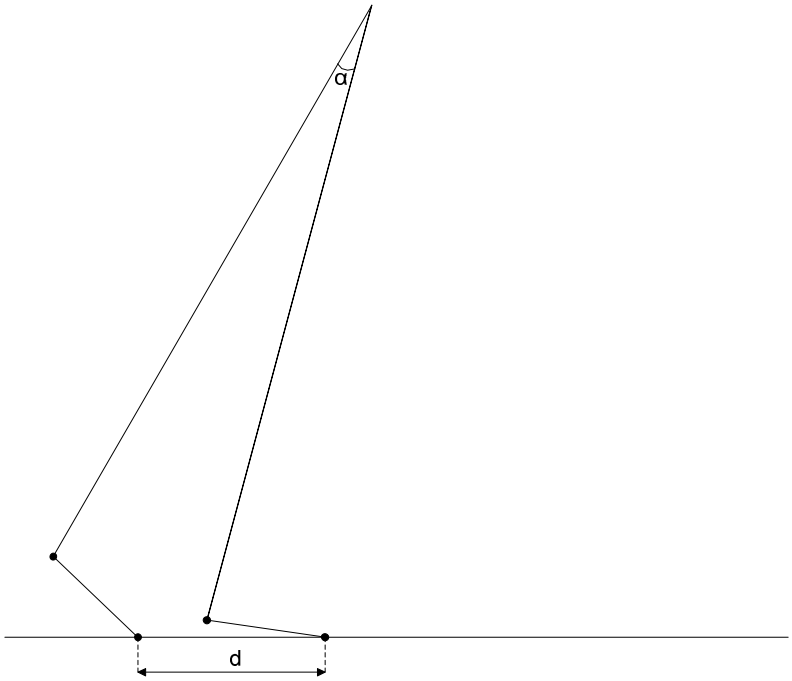
Een schakel maakt de overbrenging tussen de moer en ijkbok mogelijk. In figuur B3.2 is de overbrenging eenvoudig voorgesteld.



Figuur B3.2: Overbrenging van de oude motor naar de kanteling van de ijkbok

De moer beweegt horizontaal en het been van de ijkbok maakt een roterende beweging. Dit gedrag moet begrijpbaar gemaakt worden door de regeling om een bewegingkromme van de motor te plannen.

De lengte van het been van de ijkbok en de lengte van de schakel is bekend. De af te leggen afstand “d” bij een gegeven hoekverschil “α” is dan met enige geometrie te berekenen. Er moet uitgegaan worden van figuur B3.3.



Figuur B3.3: Beweging van de moer bij kanteling van de ijkbok

Deze berekening zal dan berusten op de volgende voorwaarden:

- De ijkbok, staak, ijklichaam, etc. buigen niet door en zijn ideaal vastgezet
- De as op de kop van de ijkbok is niet versteld; de basis van de accelerometer maakt dan een hoek van 90º ten opzichte van het been van de ijkbok

De vraag is ook of de berekening hiervan relevant is ten opzichte van de wrijving en onnauwkeurigheid van de overbrengingsmechanismen en de verbindingen ertussen.

Dit alles kan men omzeilen door direct te regelen op het signaal van de accelerometer. De vraag is dan of dit signaal stabiel en nauwkeurig genoeg is. Wel zeker is dat achteraf een stabiele meting nodig is om te kijken of de balans echt in de goede positie staat.

Bronnen:
Folder: Demag Antriebstechnik, Bremsmotoren typen L,K,S en J
Folder: Demag getriebemotoren 92 T
Tekeningen: Project ijkinstallatie voor rekstrookbalansen, tekeningnummers 431_1a, 431_38 en 431_36