

# Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:  
elektromechanica

## **Masterthesis**

**Ontwerp en realisatie van een cycling desk voor het autonoom opladen van e-devices**

**Laurens Parren**  
**Rik Van Bael**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

### **PROMOTOR :**

Prof. dr. ing. Karel KELLENS

### **PROMOTOR :**

ir. Gert VANHEES

### **BEGELEIDER :**

ing. Yves PALMERS

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE 3590 Diepenbeek  
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE 3500 Hasselt



**2022**  
**2023**

# Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:  
elektromechanica

## ***Masterthesis***

***Ontwerp en realisatie van een cycling desk voor het autonoom opladen van e-devices***

**Laurens Parren**

**Rik Van Bael**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

### **PROMOTOR :**

Prof. dr. ing. Karel KELLENS

### **PROMOTOR :**

ir. Gert VANHEES

### **BEGELEIDER :**

ing. Yves PALMERS



**KU LEUVEN**



## Woord vooraf

Met gepaste trots presenteren wij hierbij onze thesis getiteld "Ontwerp en realisatie van een cycling desk voor het autonoom opladen van e-devices". Deze thesis is het resultaat van intensief onderzoek en toewijding gedurende een aanzienlijke periode. Het is een voorrecht om onze bevindingen en inzichten met u te delen.

Graag willen wij van deze gelegenheid gebruik maken om onze oprechte waardering en dankbaarheid uit te spreken aan degenen die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze thesis. In het bijzonder willen wij onze dankbaarheid uiten aan onze promotoren, ir. Gert Vanhees, ing. Yves Palmers en Prof. dr. Ing. Karel Kellens voor hun waardevolle begeleiding, stimulerende inzichten en voortdurende ondersteuning gedurende het gehele onderzoeksproces. Hun expertise en betrokkenheid hebben een essentiële rol gespeeld bij het welslagen van deze masterproef.

Tevens willen wij onze dank betuigen aan onze collega's en medestudenten, wiens intellectuele uitwisselingen en stimulerende discussies hebben bijgedragen aan onze academische groei en de verfijning van onze ideeën.

Onze waardering gaat ook uit naar onze familieleden, die ons onvoorwaardelijk hebben gesteund gedurende onze academische reis. Hun steun en bemoedigende woorden hebben ons geïnspireerd en gemotiveerd om te streven naar excellentie.

Het is onze wens dat deze thesis een waardevolle bijdrage zal leveren aan het vakgebied en nieuwe perspectieven zal bieden voor verdere onderzoeken. Wij hopen dat de inhoud ervan andere studenten zal inspireren en aanzetten tot verdere ontwikkelingen binnen dit domein.

Diepenbeek, 23/06/2023

Rik Van Bael

Laurens Parren



# Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	1
Inhoudsopgave .....	3
Lijst van tabellen.....	7
Lijst van figuren .....	9
Verklarende woordenlijst .....	11
Verklarende symbolenlijst .....	13
Abstract .....	15
Abstract in English .....	17
1 Inleiding.....	19
1.1 Situering .....	19
1.2 Probleemstelling.....	20
1.3 Doelstelling.....	21
1.4 Materiaal en methode.....	22
1.5 Blick vooruit .....	23
2 Literatuurstudie .....	25
2.1 Inleiding.....	25
2.2 Marktonderzoek.....	25
2.2.1 WeWatt.....	25
2.2.2 DIY.....	27
2.2.3 Bureaufietsen .....	27
2.3 Veiligheid .....	29
2.4 Invloed van een cycling desk op de cognitie .....	30
3 Mechanisch ontwerp.....	31
3.1 Probleem definiërende fase .....	31
3.2 Werkwijze bepalende fase.....	32
3.2.1 Aandrijfmechanisme .....	32
3.2.2 Overbrengingen.....	32
3.2.3 Lineaire geleidingen.....	34
3.3 Vormgevende fase .....	39
3.3.1 Opbouw frame.....	39
3.3.2 Uitlijning .....	44
3.4 Afwerking .....	45
3.5 Configuraties.....	49
3.6 Berekeningen.....	51
3.6.1 Berekening vliegwiel.....	51
3.6.2 Sterkteberekening frame.....	52

3.7	Eindige elementen analyse frame .....	55
3.7.1	Inleiding / situatieschets.....	55
3.7.2	Randvoorwaarden .....	56
3.7.3	Resultaten.....	57
3.7.4	Convergentieanalyse .....	58
4	Elektrisch ontwerp.....	61
4.1	Ontwerpvereisten.....	61
4.2	Literatuuronderzoek.....	62
4.2.1	BLDC-motor .....	62
4.2.2	Gelijkrichting.....	63
4.2.3	Batterijen .....	65
4.2.4	Conclusie .....	68
4.3	Realisatie van de elektrische schakeling.....	69
4.3.1	Berekening dissipatie weerstand.....	72
4.4	Conclusie .....	72
5	Elektronisch ontwerp .....	73
5.1	Ontwerpvereisten.....	73
5.2	Literatuuronderzoek elektronische componenten.....	74
5.2.1	Sturing .....	74
5.2.2	DC-DC converter .....	77
5.2.3	Elektronische schakelaars.....	79
5.2.4	Stroomsensor .....	84
5.2.5	Spanningssensor.....	84
5.2.6	Trapfrequentie sensor .....	86
5.3	Finaal ontwerp elektronische schakeling .....	87
5.4	Berekening energieverbruik .....	88
5.4.1	Scenario 1 .....	89
5.4.2	Scenario 2 .....	90
5.4.3	Scenario 3 .....	90
5.4.4	Conclusie .....	91
5.5	Rendement van de cycling desk .....	91
5.6	Software .....	92
5.6.1	Setup.....	93
5.6.2	Dataverwerking core 1.....	97
5.6.3	Dataverwerking core 2.....	103
6	Visualisatie.....	105
6.1	Node-Red.....	105

6.2	MQTT-protocol .....	105
6.3	Verbindingsopbouw van microcontroller tot server .....	106
6.3.1	Beveiliging.....	106
6.3.2	Koppeling van microcontroller tot gebruiker .....	106
6.4	Node-Red-dashboard .....	107
7	Kostencalculatie.....	109
8	Conclusie .....	111
	Referentielijst .....	113
	Bijlage A.....	117
	Bijlage B .....	119





## Lijst van tabellen

Tabel 1: Eisenpakket .....	22
Tabel 2: Factoren voor het bepalen van de geometrie van een fiets[17].....	40
Tabel 3: Berekende zadel-en zitbuishoogtes voor personen tussen 1.59 en 1.96m. ....	40
Tabel 4: Gegevens profielen .....	52
Tabel 5: Zelfontlading per batterij-type .....	65
Tabel 6: SoC karakteristiek[32] .....	72
Tabel 7: Vergelijking microcontrollers .....	77
Tabel 8: Verbruiken actieve elektronische componenten .....	88
Tabel 9: Verbruiken passieve elektronische componenten.....	89
Tabel 10: Parameters tweede core .....	96
Tabel 11: Kostenberekening .....	109



## Lijst van figuren

Figuur 1: Cycling desk in de luchthaven van Amsterdam [1].....	19
Figuur 2: WeWatt cycling desk[4].....	25
Figuur 3: Zelfgebouwde fietsgenerator[2].....	27
Figuur 4: Twee meest voorkomende modellen van de bureaufietsen.....	27
Figuur 5: Opbouw bureaufiets[6, p. 2].....	28
Figuur 6: Invloed van een dynamische werkomgeving op het lezen, typen en muizen[8, p. 13].....	30
Figuur 7: Situatieschets mechanische componenten van een cycling desk.....	31
Figuur 8: Mechanisch functieblokschema.....	31
Figuur 9: Opbouw planetair tandwiel[10].....	34
Figuur 10: Profielrailgeleiding[12].....	35
Figuur 11: Loopwielgeleiding[12].....	36
Figuur 12: Glijgeleiding[12].....	37
Figuur 13: Doorsnede lineaire geleiding werkoppervlak.....	38
Figuur 14: Stoelassembleage Nautilus R626.....	39
Figuur 15: Belangrijke afstanden voor het dimensioneren van een fiets[19].....	41
Figuur 16: Sketch op basis van ergonomische afmetingen.....	41
Figuur 17: Testopstelling geometrie cycling desk.....	42
Figuur 18: Bekomen ontwerp op basis van de proefopstelling.....	42
Figuur 19: Opdeling cycling desk in deelvlakken.....	43
Figuur 20: Montagepunt trapas-assemblage.....	44
Figuur 21: Motorslee.....	44
Figuur 22: Omkasting cycling desk gemonteerd op frame.....	45
Figuur 23: Omkasting ingedeeld in verschillende subassembleages.....	45
Figuur 24: Eerste stap montageproces omkasting.....	46
Figuur 25: Tweede stap montageproces omkasting.....	46
Figuur 26: Sluiten wipsluitingen.....	47
Figuur 27: Derde stap montageproces omkasting.....	47
Figuur 28: Vierde stap montageproces omkasting.....	48
Figuur 29: Cycling desks in kruisopstelling.....	49
Figuur 30: Cycling desks in hoekopstelling.....	50
Figuur 31: Cycling desk in geschrante opstelling.....	50
Figuur 32: Vereenvoudigde schets frame.....	52
Figuur 33: VLS frame.....	53
Figuur 34: Dwarskrachtendiagram.....	53
Figuur 35: Buigmomentendiagram.....	53
Figuur 36: Superpositie snede 1.....	54
Figuur 37: superpositie snede 2.....	55
Figuur 38: Vereenvoudiging frame voor EEM.....	55
Figuur 39: Gegenerende mesh met AutoGEM.....	56
Figuur 40: Aangelegde randvoorwaarden op het model.....	56
Figuur 41: Berekende doorbuiging FEM-analyse.....	57
Figuur 42: Berekende spanningen FEM-analyse.....	57
Figuur 43: Spanningsverloop middelste profiel.....	58
Figuur 44: Convergentie-analyse von Mises-spanningen.....	58
Figuur 45: Eenvoudig elektrisch schema.....	61
Figuur 46: Halve golf gelijkrichter[23].....	63
Figuur 47: Uitgangsspanning halve golf gelijkrichter[23].....	64
Figuur 48: Bruggelijkrichter[23].....	64

Figuur 49: Uitgangsspanning driefasige bruggelijkrichter[23] .....	64
Figuur 50: Principe batterij [24].....	65
Figuur 51: Constructie LiFePO4 batterij[28] .....	67
Figuur 52: Dwarsdoorsnede omgebouwde BLDC-motor.....	69
Figuur 53: Spanning in functie van snelheid.....	70
Figuur 54: Motorkarakteristiek.....	70
Figuur 55: Stroom i.f.v. spanningsval over elke diode[29, p. 8] .....	71
Figuur 56: Schema inputs/ outputs elektronische schakeling.....	73
Figuur 57: Eenvoudige implementatie input/output.....	74
Figuur 58: ESP32-Devkit V1[33].....	75
Figuur 59: SAR ADC[34] .....	75
Figuur 60: Principe ADC[34] .....	76
Figuur 61: Timer principe .....	76
Figuur 62: PWM signaal[35] .....	76
Figuur 63: Arduino Uno[36].....	77
Figuur 64: Uitgangskarakteristieken LM7805[38, p. 9] .....	78
Figuur 65: Buck converter[39] .....	78
Figuur 66: Configuratie van transistoren[40] .....	79
Figuur 67: Transistorkarakteristiek[41].....	80
Figuur 68: N-kanaal verarmingstype mosfet[42] .....	81
Figuur 69: N-kanaal verrijkingstype mosfet [42] .....	82
Figuur 70: Uitgangskarakteristiek AOD4184[43, p. 3] .....	82
Figuur 71: Draadloos oplaadsysteem[45].....	83
Figuur 72: ACS712-30A uitgangsspanning ifv gemeten stroom[47, p. 4].....	84
Figuur 73: Spanningsdeler .....	85
Figuur 74: Optische encoder[49].....	86
Figuur 75: Finaal elektronisch schema .....	87
Figuur 76: Sankey diagram cycling desk .....	91
Figuur 77: Flowchart setup.....	93
Figuur 78: Flowchart wifi setup .....	94
Figuur 79: Flowchart MQTT-setup.....	95
Figuur 80: Code initialisatie tweede core .....	96
Figuur 81: Setup timer.....	96
Figuur 82: Flowchart dataverwerking.....	97
Figuur 83: Soc in grafiekvorm.....	98
Figuur 84: Flowchart spanningsmeting .....	99
Figuur 85: Flowchart stroommeting .....	100
Figuur 86: Flowchart toerentalmeting.....	101
Figuur 87: Flowchart data versturen .....	102
Figuur 88: Weerstandsregeling.....	103
Figuur 89: Overzicht communicatie.....	106
Figuur 90: Gemeenschappelijke pagina van de interface.....	107
Figuur 91: Cycling desk specifieke pagina van de interface.....	107
Figuur 92: Subflow cycling desk 2.....	108

## Verklarende woordenlijst

AC	Alternating Current
ADC	Analog Digital Converter
BLDC	Brushless DC
CAD	Computer Aided Design
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Current
EEM	Eindige-Elementen Methode
EMK	Elektromotorische kracht
IoT	Internet of Things
ISR	Interrupt service routine
Mosfet	Metal oxide semiconductor field effect transistor
MQTT	Message Queuing telemetry transport
PTFE	PolyTetraFluorEthyleen
PWM	Pulse Width Modulation
SoC	State of charge
TCP/IP	Transmission control protocol/internet protocol



## Verklarende symbolenlijst

Symbool	Beschrijving	Eenheid
E	Energie	[J]
F <sub>y</sub>	Krachten in de y-richting	[N]
I	Traagheidsmoment	[mm <sup>4</sup> ]
I	Stroom	[A]
M	Moment	[N*m]
P	Vermogen	[W]
R	Straal	[m]
R	Weerstandsmoment	[Ohm]
U	Spanning	[V]
V	Doorbuiging	[m]
W	Weerstandsmoment	[mm <sup>4</sup> ]
X	Uren	[h]
$\sigma_{\text{toelaatbaar}}$	Toelaatbare spanning	[n/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{\text{max}}$	Max optredende spanning	[n/mm <sup>2</sup> ]
$\theta$	Hoek	[rad]





## Abstract

Dit onderzoek richt zich op het ontwerp en de constructie van een cycling desk, die geplaatst zal worden in de foyer van het UCLL-gebouw. De cycling desk is modulair opgebouwd uit meerdere identieke units welke in verschillende configuraties kunnen worden opgesteld. Elke unit is ergonomisch ontworpen en volledig instelbaar door de gebruiker. Daarnaast zijn de units voorzien van een visualisatie waardoor de gebruiker en cycling desk met elkaar kunnen interageren.

Het onderzoek omvat drie domeinen: mechanisch ontwerp, elektrisch ontwerp en communicatie/visualisatie. Het mechanische aspect omvat het ontwerp van een stevige en ergonomische cycling desk met een trendy design. Het elektrische deel richt zich op het efficiënt opwekken, opslaan en omzetten van mechanische naar elektrische energie en bijkomend, het monitoren van alle relevante parameters. De ontwikkelde visualisatie biedt een gebruiksvriendelijke interface met een displaysysteem voor feedback te geven aan de gebruiker over zijn prestaties.

Voor het mechanisch ontwerp van de cycling desk werd de gestructureerde methode van H.H. van Kroonenberg toegepast. Het elektrisch ontwerp werd gesimuleerd en getest met behulp van een testopstelling. De gebruiksvriendelijke interface werd ontwikkeld in Node-Red, een veelzijdige ontwikkelomgeving. Het resultaat van deze werkstructuur is een functionele cycling desk die voldoet aan de eisen van ergonomie, prestaties en gebruikservaring.



## Abstract in English

This research focuses on the design and construction of a cycling desk, which will be placed in the foyer of the UCLL-building. The cycling desk is modular, consisting of multiple identical units that can be arranged in various configurations. Each unit is ergonomically designed and fully adjustable by the user. Additionally, the units are equipped with visualization capabilities, allowing for interaction between the user and the cycling desk.

The research encompasses three domains: mechanical design, electrical design, and communication/visualization. The mechanical aspect involves the design of a sturdy and ergonomic cycling desk with a trendy aesthetic. The electrical component focuses on efficient generation, storage, and conversion of mechanical energy into electrical energy, as well as monitoring all relevant parameters. The developed visualization provides a user-friendly interface with a display system to provide feedback to the user regarding their performance.

For the mechanical design of the cycling desk, the structured method proposed by H.H. van Kroonenberg was employed. The electrical design was simulated and tested using a test setup. The user-friendly interface was developed in Node-Red, a versatile development environment. The outcome of this work structure is a functional cycling desk that meets the requirements of ergonomics, performance, and user experience.



# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

Sinds 2020 is de constructie van het nieuwe UCLL-gebouw afgerond. Hierdoor is er aan de hoofdingang een grote foyer die veel potentieel heeft om een aangename ontmoetingsruimte te worden voor zowel de studenten van de UCLL, UHasselt en KU Leuven. Eén van de wensen van de studenten is om meer zitplaatsen te creëren waar ze kunnen bijpraten, studeren enz.

Het doel van deze masterproef is het ontwerpen van een cycling desk. Een cycling desk is een fiets op een statief, voorzien van een werktafel, waarmee je tijdens het trappen energie opwekt en tegelijk kan werken of studeren aan je laptop die ondertussen wordt opgeladen door jouw beweging. Een voorbeeld van een cycling desk is weergegeven in Figuur 1.



*Figuur 1: Cycling desk in de luchthaven van Amsterdam [1]*

Een cycling desk in de foyer van het UCLL-gebouw zal een leuke meerwaarde betekenen voor de studenten. Zij kunnen op een actieve manier samen zijn en/of studeren en ondertussen worden hun e-devices, zoals laptop, tablet, smartphone, smartwatch, ... opgeladen. Daarenboven wordt de ecologische voetafdruk van de gebruiker verkleind en worden de studenten hun awareness rondom hernieuwbare energie aangescherpt.

Op dit moment zijn er verschillende cycling desks op de markt. Er is in de agora van de UHasselt bijvoorbeeld ook een unit van WeWatt. De mogelijkheden en functies van deze unit zijn echter vrij beperkt. Ook andere bestaande modellen hebben beperkte features. Bovendien hebben deze modellen een laag rendement[2]. De gebruiker moet dus veel mechanische energie genereren aan de trapas om maar weinig elektrische energie aan de uitgang te krijgen. Daarnaast zijn overwegend weinig of soms geen visuele gegevens (vermogen, totaal opgewekte energie, totaal vermeden CO<sub>2</sub> uitstoot, e.d.) beschikbaar die de gebruiker kan volgen tijdens het trappen, dit zou nochtans een extra stimulans kunnen zijn voor de gebruikers. Tenslotte zijn er veel cycling desks enkel van een AC stopcontact voorzien zijn terwijl de toepassingen voor het laden nagenoeg allemaal DC zijn. Deze topics worden onderzocht en verbeterd in de masterproef.

Tijdens het ontwerpproces is het belangrijk dat de cycling desk wordt opgesplitst in 3 categorieën:

- het mechanisch ontwerp;
- het elektrisch ontwerp;
- de software.

Bij het mechanisch ontwerp wordt er in detail gekeken naar hoe de tafel en het zitgedeelte voor vier tot acht gebruikers op een ergonomische en gebruiksvriendelijke manier gerealiseerd kunnen worden. Ook is het belangrijk dat het mechanisch ontwerp robuust is en tegelijk een hoog rendement heeft. Maar het is ook belangrijk dat het ontwerp stijlvol is afgewerkt zodat de unit een echte eyecatcher wordt in de foyer.

Bij het elektrisch ontwerp worden de juiste elektrische componenten gekozen om zo weinig mogelijk elektrische verliezen te hebben. Voor het uitlezen van verschillende features zoals opgewekte spanning, trapvermogen, fietssnelheid,.. zijn er ook verschillende sensoren nodig. De keuze van deze componenten en het uitlezen hiervan zijn ook onderdeel van het elektrisch ontwerp.

Om de gebruiker op een visuele manier inzicht te geven in zijn/haar prestaties tijdens het fietsen, is er een dashboard geïntegreerd. Voor het correct uitlezen van alle sensoren en het besturen van dit dashboard dient er gepaste software geschreven te worden.

## 1.2 Probleemstelling

Tegenwoordig zijn er in de wereld van hernieuwbare energie, opgewekt door middel van zelf geleverde arbeid, meerdere grote spelers zoals bijvoorbeeld WeWatt en NOrD Bike. Echter zijn de ontwerpen van deze bedrijven vaak moeilijk manoeuvreer- en aanpasbaar en is het niet mogelijk informatie te krijgen over de hoeveelheid vermogen er opgewekt wordt. Deze tekortkomingen zullen behandeld worden in deze masterproef en worden hieronder verder toegelicht.

Door dit vastgelegd design zijn de bestaande cycling desks niet talrijk te vinden. Het is niet aangenaam om gedurende een bepaalde periode te trappen op een cycling desk die niet comfortabel zit. Dit wordt veroorzaakt door een niet ergonomische zithouding. Dit verkleint meteen het doelpubliek dat gebruik zou maken van deze cycling desk.

Een volgend probleem is dat men er veel energie moet insteken en er zeer weinig energie uit haalt. De elektrische en mechanische configuratie is niet efficiënt ontworpen waardoor veel van de geleverde arbeid verloren gaat aan verliezen.

Ook zijn deze desks niet voorzien op de nieuwe regelgeving betreffende de verschillende oplaadkabels die gebruikt mogen worden op gsm-toestellen. Vanaf 2024 mag er in Europa enkel nog gebruik gemaakt worden van USB-C poorten als oplaadkanaal[3]. Hierdoor is het niet meer nodig om in de nieuwe cycling desk een AC-aansluiting te voorzien.

Daarenboven is er geen gevoel van natuurlijke weerstand tijdens het gebruik van de bestaande desks. Dit zorgt voor weinig uitdaging. Dit leidt tot het ontbreken van het fietsgevoel tijdens het gebruik van de huidige desks.

Een laatste probleem van de huidige cycling desks is dat er geen features zoals het opgewekte vermogen, totale gefietste afstand,.. op een display zichtbaar zijn. Hierdoor is het voor de gebruiker niet aantrekkelijk om gebruik te maken van de desk.

### 1.3 Doelstelling

Het doel van deze masterproef is om een gebruiksvriendelijke cycling desk te realiseren die een hoger rendement heeft als de huidige te verkrijgen alternatieven. Er dienen 4 (optioneel 8) personen aan de cycling desk te kunnen plaatsnemen. Deze realisatie heeft een maximumbudget van 10.000 euro.

Het is de bedoeling dat elke gebruiker het zadel en werkoppervlak naar eigen wensen kan verplaatsen, dit zonder veel en/of moeilijke handelingen te moeten verrichten, zoals bijvoorbeeld door het achteruittrekken van een knop. Verder dient er een weerstandsinstelling geïmplementeerd te worden waardoor de weerstand die de gebruiker ondervindt geregeld kan worden. Hierdoor is de gebruiker zelf in staat te regelen tegen welk vermogen er getrapt wordt bij een vaste trapfrequentie. Door een geschikte massatraagheid te combineren met deze weerstandsinstelling wordt het probleem van het ontbrekende fietsgevoel geëlimineerd.

Om de cycling desk aantrekkelijk te maken voor studenten wordt deze voorzien van een interface. Hierop worden de parameters van alle cycling desk units, die aanwezig zijn in het gebouw weergegeven. Voorbeelden van deze parameters zijn het opgewekt vermogen, trapsnelheid en afgelegde afstand.

De opbouw van de cycling desk zal modulair zijn, wat betekent dat deze bestaat uit 4 tot 8 identieke modellen die flexibel kunnen worden geconfigureerd. Deze manier van werken heeft als voordeel dat ze verspreid worden doorheen het gebouw alsook makkelijk kunnen worden getransporteerd naar toekomstige evenementen waaraan de UCLL deelneemt.

Een laatste doelstelling is om het elektrisch deel van de cycling desk zodanig te ontwerpen dat er zo weinig mogelijk verliezen zijn. Dit door het ontwerpen van een zo efficiënt mogelijk elektrisch circuit alsook van een rendabele mechanische aandrijving. Verder moet het mogelijk zijn om zowel een laptop als een gsm met een USB-C voeding rechtstreeks aan de cycling desk te koppelen (zonder adapter).



Alle hierboven vermelde eisen werden nog een keer samengevat in een eisenpakket (zie Tabel 1), hierin zijn deze nog een keer onderverdeeld in de vaste eisen, variabele eisen en wensen.

Tabel 1: Eisenpakket

Vaste eisen	
	Er dient minimaal 1 cycling desk afgewerkt te zijn op het einde van het project welke door de modulaire opbouw eenvoudig gereproduceerd kan worden
	Transporteerbaar
	Het budget voor 4 cycling desks is 10000 euro
	Voorzien van een visualisatie waarop de verschillende elektrische parameters weergegeven worden
	Een ergonomische zithouding aanbieden voor de gebruiker
	Stabiele studeer desk bieden voor de gebruiker
	De optie hebben om aangesloten te worden op het net, om zo indien noodzakelijk, bij te kunnen laden
	Modulair ontwerp
	Voldoen aan de algemene machinerichtlijn
	Werkbelasting van 1300N aankunnen
	USB-C aansluitingen voor het opladen van e-devices
	Onderhoudsvrij
Variabele eisen	Tussen de 1 - 6 weken zelfvoorzienend kunnen werken
	Instelbaar voor personen tussen de 1.60 – 2.00m
Wensen	Voorzien van het logo van de universiteiten
	Demonteerbaar
	Bruikbaar als educatief voorbeeld voor andere opleidingen

## 1.4 Materiaal en methode

Voor de uitvoering en realisatie van deze masterproef wordt de methodologie van H.H. van Kroonenberg toegepast. Deze methode omvat het opstellen van een functieblokschema op basis van een probleemstelling en een set van eisen. Hierin worden alle functionele vereisten geïntegreerd. Op basis van deze eisen wordt een morfologisch overzicht gecreëerd, waarin verschillende oplossingsmethoden worden voorgesteld voor elk functieblok. Hierdoor ontstaat een overzicht van diverse oplossingsmogelijkheden.

Vervolgens worden uit dit overzicht verschillende concepten geselecteerd en voorontwerpen gemaakt. Na kritisch te redeneren over elk voorontwerp, wordt er één uitgekozen. Dit om uiteindelijk een gedetailleerd ontwerp uit te werken. Om het gedetailleerde ontwerp uit te werken wordt er gebruik gemaakt van het CAD-pakket Creo Parametric.

Op dit uitgewerkte ontwerp dienen ook gepaste sterkteberekeningen gemaakt te worden. Deze zullen eerst manueel uitgerekend worden om ze dan te kunnen verifiëren door middel van eindige-elementen methodes in het softwarepakket Siemens NX en Creo Parametric.

Voor het ontwerp, realiseren en testen van het elektrische gedeelte (zonder de visualisatie-software) is er een collaboratie met 3 studenten van de richting elektrotechnieken aan de UCLL. Zij zullen in de eerste plaats verantwoordelijk zijn voor dit deel, wekelijkse opvolgvergaderingen zijn gepland om de voortgang te bespreken.

## 1.5 Blik vooruit

De thesis begint met een literatuuronderzoek, hierin wordt ten eerste het huidige aanbod van cycling desks onderzocht alsook de mechanische en elektrische componenten waaruit deze zijn opgebouwd. Het tweede deel van het literatuuronderzoek focust zich op de eisen omtrent veiligheid en de mogelijke invloeden van een cycling desk op de cognitie.

Vervolgens gaat de thesis dieper in op de behaalde resultaten voor de vier hoofdzakelijke domeinen van een cycling desk, namelijk het mechanische ontwerp, elektrische ontwerp, elektronisch ontwerp en de visualisatie. Elk van deze onderdelen begint met een korte literatuurstudie waarin de geschikte componenten onderzocht en vergeleken worden. Hierna wordt er toegelicht hoe en waarom deze componenten geïmplementeerd zijn in het ontwerp van de cycling desk. Elk hoofdstuk sluit af met een weergave van het uiteindelijke resultaat.



## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Inleiding

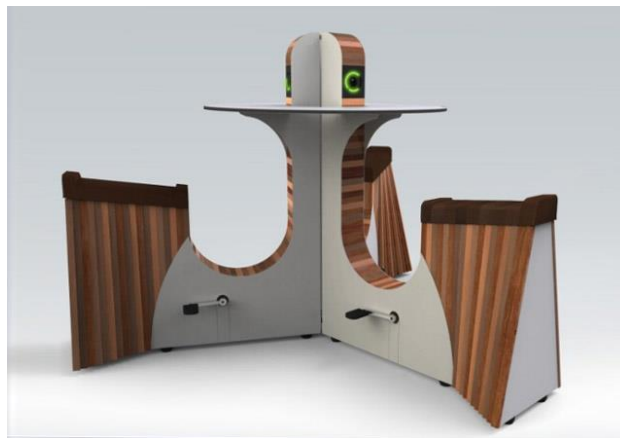
Voorafgaand aan het ontwerpproces is een literatuuronderzoek uitgevoerd met als doel inzicht te verkrijgen in het bestaande aanbod van cycling desks, de huidige werking en selectie van elektronische en mechanische componenten, de impact van een cycling desk op cognitieve aspecten en de veiligheidseisen met betrekking tot een cycling desk.

### 2.2 Marktonderzoek

Het huidige aanbod van de cycling desks wordt onderzocht door middel van een marktonderzoek. Dit onderzoek gaat dieper in op het aanbod van cycling desks op de hedendaagse markt. Vervolgens worden de elektrische en mechanische componenten, gebruikte overbrengingen en doel van deze producten in detail bekeken.

#### 2.2.1 WeWatt

De huidige markt van cycling desks wordt gedomineerd door het bedrijf WeWatt. Dit is een Belgisch bedrijf gelegen in Leuven. Het specialiseert zich in het ontwerpen van meubels met de mogelijkheid tot het zelf opwekken van energie. Het populairste model in hun aanbod namelijk de kiosk, is diegene die hier verder onderzocht wordt en weergegeven is in Figuur 2. Dit duurzame meubel is ontworpen met het doel gebruikers enerzijds hun elektronische toestellen op te laten laden met duurzame zelf opgewekte energie en anderzijds de gebruikers te stimuleren om hun dagelijkse hoeveelheid lichaamsbeweging te behalen. Het bedrijf richt de verkoop vooral op veel gebruikte openbare plaatsen waar er regelmatig wachtende mensen zijn met een tekort aan oplaadpunten zoals bijvoorbeeld luchthavens, treinstations en schoolgebouwen.



*Figuur 2: WeWatt cycling desk[4]*

De prijs van de kiosk varieert afhankelijk van de gekozen configuratie. Vanwege de modulaire opbouw is de kiosk verkrijgbaar in verschillende varianten. De opstelling met een rond tafelblad waarin drie exemplaren van de kiosk zijn geïntegreerd, heeft een prijs van 10.000 euro inclusief btw. Dit komt neer op een bedrag van 3.333,33 euro per exemplaar van de kiosk cycling desk.

De mechanische kenmerken van het kioskmeubel zijn onderzocht door middel van een analyse van het patent van het meubel en door het ontleden van de desbetreffende eenheid in het universiteitsgebouw van Hasselt. Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het frame van de kiosk is opgebouwd uit een combinatie van plaatmetaal, metalen profielen, hout en Trespa. Er wordt

gebruikgemaakt van een enkelvoudige kettingoverbrenging tussen de trapas en de motor. Hierbij wordt gestreefd naar een ideale overbrengingsverhouding tussen 1/17 en 1/30[4]. Deze waarden zijn berekend op basis van een gemiddelde trapsnelheid van de gebruiker van 50 tot 60 omwentelingen per minuut. Met behulp van deze overbrenging wordt geprobeerd een gunstig toerental van meer dan 1500 omwentelingen per minuut aan de kant van de generator te bereiken. Om de gebruiker een realistisch fietsgevoel te geven, is er een vliegwiel gebruikt. Dit vliegwiel is direct gemonteerd op de motor en zorgt voor de benodigde inertie tijdens het trappen.

Voor de analyse van de elektrische werking van het kioskmodel is een vergelijkbare benadering gevolgd als voor de mechanische eigenschappen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er gebruik wordt gemaakt van een achterwielmotor van een elektrische fiets.

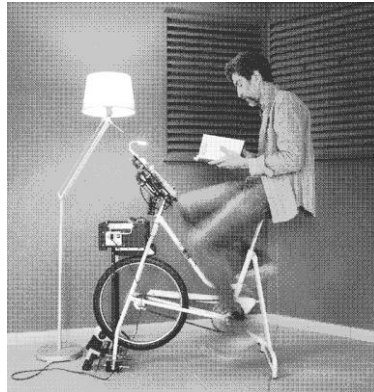
Voor het bufferen van het opgewekte vermogen door de generator wordt een supercondensator toegepast. Deze supercondensator heeft een nuttige capaciteit van 3600 Joule, wat overeenkomt met een vermogen van 60W gedurende 60 seconden. Het voordeel van het gebruik van een supercondensator is dat deze vrijwel onbeperkte laadcycli kan ondergaan. Het nadeel is echter dat een supercondensator een zeer lage interne weerstand heeft. Dit betekent dat wanneer deze volledig ontladen zou zijn, de generator maximaal belast zou worden, wat resulteert in een hoge weerstand voor de gebruiker bij het trappen op de cycling desk. Om dit te voorkomen, is er een stroombegrenzer geïntegreerd. Deze begrenzer heeft als doel om de stroom te beperken bij een volledig ontladen supercondensator, waardoor de weerstand die de gebruiker ervaart beperkt blijft.

In de kiosk is er gekozen voor een 230V AC-aansluitpunt. Hierdoor is er een omvormer (inverter) geïnstalleerd om de opgewekte spanning om te zetten. De keuze van de inverter is gebaseerd op het ingangsspanningsbereik, dat zo groot mogelijk moet zijn vanwege de variatie in de opgewekte spanning door de generator. De ingebouwde inverter heeft een vermogen van 150W.

Om te voorkomen dat een persoon te veel vermogen zou opwekken en daardoor het elektrische circuit zou overbelasten, is er een "dump load" voorzien. Dit is een serie geschakeld netwerk van weerstanden dat het overtollige vermogen omzet in warmte. De dump load is verbonden met een zenercircuit dat schakelt zodra de spanning boven een grenswaarde van 30V komt, waardoor het teveel aan vermogen wordt afgevoerd naar de dump load. Hierdoor ervaart de gebruiker, zelfs bij een volledig opgeladen energiebuffer, nog steeds een toenemende weerstand op de pedalen. Als de dump load niet voldoende is om het overtollige opgewekte vermogen op te nemen, wordt een beveiligingsrelais geactiveerd dat de generator loskoppelt van het circuit.

### 2.2.2 DIY

Buiten de cycling desks van het bedrijf WeWatt zijn er niet veel alternatieven op de markt. Echter zijn er wel mensen die bij hen thuis zelf een exemplaar proberen te bouwen. Meestal wordt hier een oude spinningfiets of hometrainer voor omgebouwd zoals weergegeven in Figuur 3. Om de opstelling zo goedkoop mogelijk te houden, wordt er veel gebruik gemaakt van een wrijvingsoverbrenging tussen de generator en de wielen of het vliegwiel. Dit is echter geen optimale oplossing aangezien deze overbrenging de gemiddelde opbrengst verlaagt met een 15 procent[5]. Er zijn ook opstellingen die aangedreven worden met een riem of ketting. Deze zijn al snel complexer in bouw en komen dus niet veel voor.



*Figuur 3: Zelfgebouwde fietsgenerator[2]*

De elektrische configuraties van deze zelfgebouwde machines zijn vaak eenvoudig uitgevoerd. Om de spanning te reguleren, wordt gebruik gemaakt van buck-boost converters. Om verschillende spanningen te kunnen leveren, bijvoorbeeld voor het opladen van diverse apparaten, worden meerdere uitgangen voorzien. Elke uitgang heeft zijn eigen specifieke spanning en is bestemd voor een bepaald type belasting. Om de stroom en daarmee de weerstand op de pedalen te reguleren, worden verschillende belastingen gelijktijdig ingeschakeld.

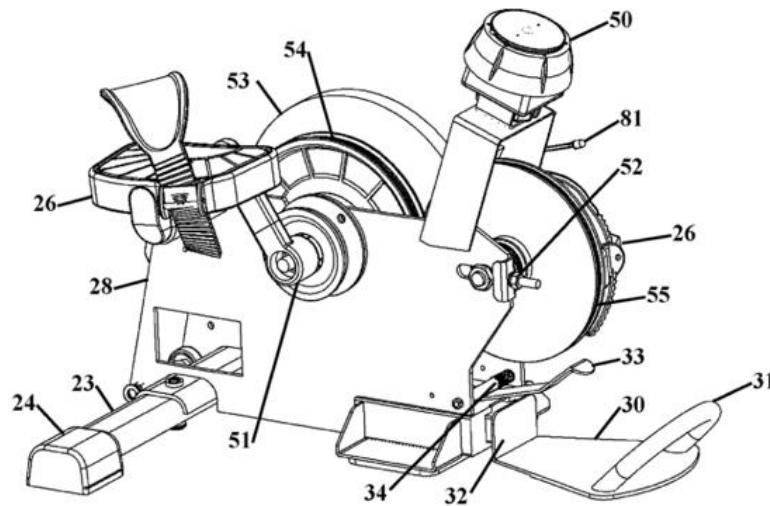
### 2.2.3 Bureaufietsen

Een ander type fiets dat veelvuldig op de markt te vinden is, betreft bureaufietsen. Deze fietsen bestaan vaak uit afzonderlijke eenheden die onder een standaard bureau kunnen worden geplaatst. Hun doel is niet zozeer gericht op het opwekken van stroom, maar eerder op het bieden van een oplossing voor personen die dagelijks te weinig lichaamsbeweging krijgen. In Figuur 4 worden de twee meest voorkomende opstellingen van deze bureaufietsen weergegeven. Het belangrijkste verschil tussen beide modellen is dat het eerste model niet in combinatie met een bureaustoel gebruikt hoeft te worden.



*Figuur 4: Twee meest voorkomende modellen van de bureaufietsen*

Op het gebied van mechanica werken beide modellen vrijwel identiek. De trapas is direct verbonden met een massa-inertie, meestal in de vorm van een vliegwiel, zoals weergegeven in Figuur 5. De gebruiker kan de weerstand aanpassen door aan een knop te draaien (nummer 50 in Figuur 5). Hierdoor wordt er meer of minder kracht direct op het vliegwiel uitgeoefend, waardoor het trappen zwaarder of lichter wordt. Bij dit soort fietsen wordt doorgaans geen vrijlooptmechanisme gebruikt, omdat de inertie ervoor zorgt dat je niet direct kunt stoppen met trappen. Deze configuratie is geschikt voor spinningfietsen, waarbij gebruikers bij het eerste gebruik uitleg krijgen. Als men hier niet op voorbereid is, kan dit mogelijk letsel tot gevolg hebben.



Figuur 5: Opbouw bureaufiets[6, p. 2]

## 2.3 Veiligheid

In dit hoofdstuk van het literatuuronderzoek wordt dieper ingegaan op de veiligheidseisen met betrekking tot het mechanische aspect van de cycling desk. Het doel hiervan is om een veilig gebruik van het apparaat te waarborgen voor de gebruiker tijdens het fietsen.

Volgens referentie [7] moet een bureau-meubel zodanig ontworpen zijn dat het risico op verwondingen bij de gebruiker wordt voorkomen. Om aan deze bewering te voldoen, moeten de volgende eisen worden nageleefd:

- de randen van het zitvlak, rug-en armsteun die in contact komen met de gebruiker, dienen afgerond te worden met een minimumstraal van 2mm;
- de randen en handvaten zijn afgerond of afgevlakt in de richting waarin de kracht uitgeoefend wordt;
- alle andere randen en hoeken zijn vrij van bramen en afgerond of afgevlakt;
- het uiteinde van holle componenten is gedicht;
- bewegende onderdelen zijn zo ontworpen dat tijdens het gebruik hiervan het onmogelijk is hierbij in contact te komen;
- het gebruik van bewegende onderdelen moet kunnen gebeuren vanuit de zitpositie;
- het is voor een kracht dragend deel niet mogelijk los te komen zonder dat dit gewenst is;
- er is geen mogelijkheid tot in aanraking komen met knelpunten bij het gebruiken van het toestel. De knelpunten zijn onaanvaardbaar indien deze een risico op verwonden zijn door de krachten gegenereerd door het gewicht van de gebruiker.

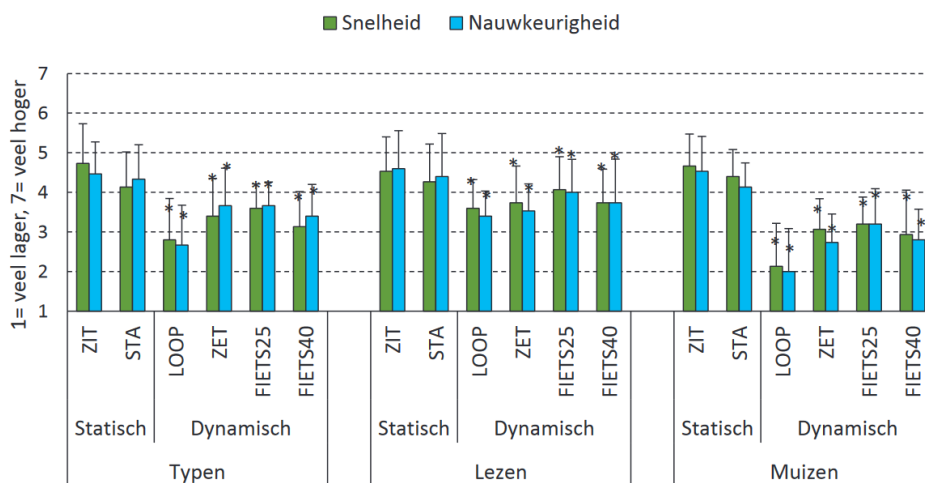
De algemene machinerichtlijn is een verplichte Europese wet waaraan iedere machine moet voldoen om in de handel gebracht te mogen worden[7]. Aangezien dit onderzoek niet gericht is op het ontwerpen van een cycling desk om op de markt te brengen, zou deze niet direct onder de machinerichtlijn vallen. Echter om de veiligheid van de gebruiker te kunnen garanderen zal er toch rekening worden gehouden met deze richtlijn.



## 2.4 Invloed van een cycling desk op de cognitie

Het laatste onderdeel van deze literatuurstudie is een bijkomend onderzoek naar de invloed van bewegen tijdens het werken/studeren. Dit onderzoek wordt uitgevoerd aangezien de cycling desk in een schoolomgeving geplaatst zou worden. In deze omgeving zouden vele studenten gebruik maken van de desk om te werken voor school of om eventuele online lessen te volgen. Indien het gebruik van de cycling desk hun prestaties zou verminderen, zou dit invloed kunnen hebben op het gebruik en de populariteit van de cycling desk.

Het resultaat van eerder onderzoek omtrent het werken in een dynamische omgeving is weergegeven in Figuur 6. In dit onderzoek wordt er gekeken wat de invloed is op de snelheid en nauwkeurigheid van het typen, lezen en het gebruik van de computermuis [8]. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen statisch en dynamisch werken. Statisch representeert zowel het zittend als staand werken aan een bureau. De dynamische categorie stelt het werken voor terwijl er bewogen wordt, hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen lopen, fietsen tegen 25km/u en fietsen tegen 40km/u. Voor dit onderzoek wordt er enkel gekeken naar het zittend statisch werken en het fietsend dynamisch werken aangezien deze betrekking hebben tot de cycling desk.



Figuur 6: Invloed van een dynamische werkomgeving op het lezen, typen en muizen [8, p. 13]

Zoals weergegeven in Figuur 6, is er wel degelijk een invloed. Er was een afname van 5% in de snelheid van het muizen alsook een toename van 61% in gemaakte fouten. Ook was er een vermindering van 6 tot 8% in de muissnelheid. Bij het typen was er geen significant verschil aanwezig.

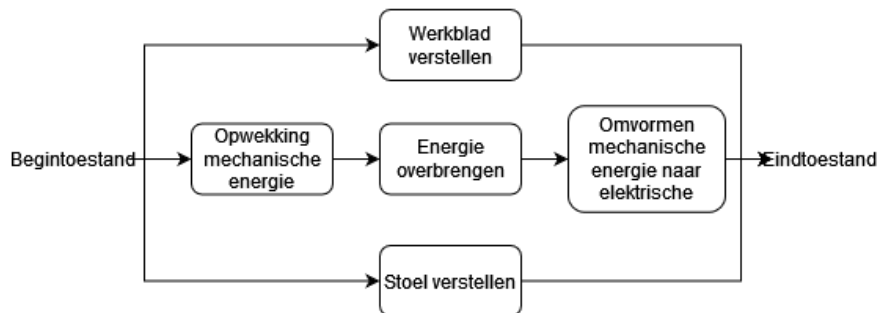
De conclusie die hieruit getrokken kan worden, is dat personen kunnen werken in een dynamische werkplek zonder dat dit ten koste zou gaan van hun taakprestaties, met uitzondering van precisietaken met de muis. Echter hadden de meeste proefpersonen toch de perceptie dat hun prestatie omlaag ging, toch gaven ze aan gebruik te maken van de werkomgeving indien deze ter beschikking kwam.

### 3 Mechanisch ontwerp

Dit hoofdstuk van de masterproef richt zich op het mechanische ontwerp van de cycling desk. De resultaten van de verschillende fasen van het ontwerpproces van H. H. van Kroonenberg worden eerst gepresenteerd. Hierbij wordt de keuze van de geschikte mechanische componenten gebaseerd op een uitgebreide literatuurstudie. Op basis van de vereisten en afmetingen van deze componenten wordt dan het frame ontworpen met specifieke aandacht voor ergonomische aspecten.

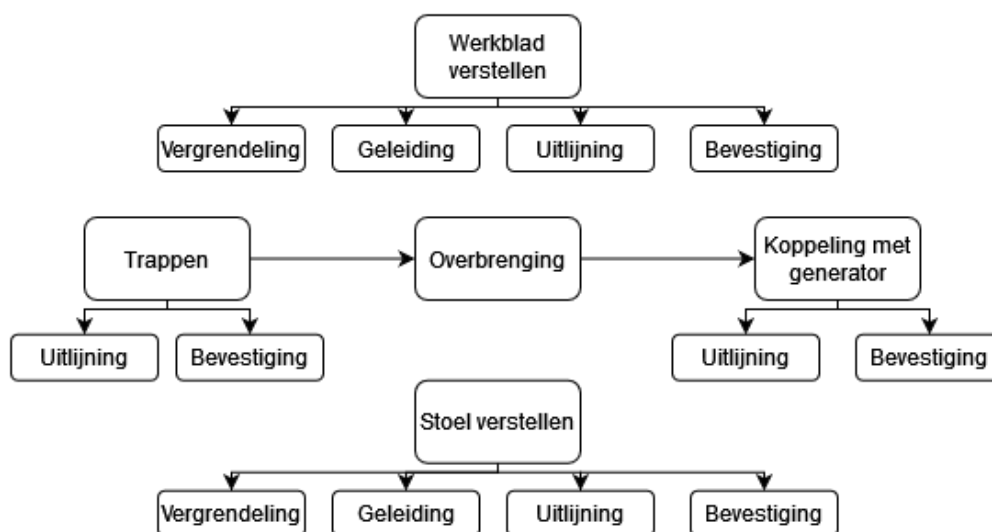
#### 3.1 Probleem definiërende fase

De initiële fase van het methodische ontwerpproces omvat de definitie van het probleem. Dit begint met een situatieschets, die een vereenvoudigde weergave geeft van de mechanische werking van een cycling desk, zoals getoond in Figuur 7. De situatieschets begint met een starttoestand, waarbij een persoon plaatsneemt op de cycling desk. Vervolgens begint de persoon energie op te wekken door te trappen, deze energie moet worden overgedragen naar de generator om tot een eindtoestand te komen. De eindtoestand wordt bereikt wanneer de opgewekte energie gebruikt wordt om e-devices op te laden. Tegelijkertijd moet de gebruiker ook in staat zijn om de cycling desk aan te passen naar zijn voorkeur.



Figuur 7: Situatieschets mechanische componenten van een cycling desk

Op basis van de situatieschets zijn de te vervullen functies van het mechanische ontwerp opgesteld. Deze functies worden vervolgens nog verder opgedeeld in hun hulpfuncties en samengevat in een functieblokschema dat is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Mechanisch functieblokschema

## 3.2 Werkwijze bepalende fase

In de werkwijze bepalende fase wordt er op basis van het functieblokschema een morfologisch overzicht opgesteld van de te vervullen functies en hun deelfuncties. Het morfologisch overzicht weergegeven in Bijlage B, bevat mogelijke mechanische oplossingen die gebruikt kunnen worden om aan desbetreffende functie te voldoen. Vervolgens wordt de overzichtelijke weergave gebruikt om alle verschillende combinaties van mechanische componenten op te stellen. Door deze structuren te vergelijken, is het mogelijk de optimale combinatie van mechanische componenten vast te stellen. De gekozen structuur is aangeduid met de blauwe pijl in het morfologisch overzicht in Bijlage B. Om deze keuze te maken is er een literatuuronderzoek uitgevoerd omtrent alle verschillende mechanische componenten die aanwezig zijn in de verschillende structuren.

### 3.2.1 Aandrijfmechanisme

De keuze van het aandrijfmechanisme is gebaseerd op 3 factoren namelijk:

1. de mogelijkheid tot uitvoeren van bureauwerk;
2. hoeveelheid inspanning voor de gebruiker;
3. hoeveelheid opgewekt vermogen.

Rekening houdend met deze 3 factoren is er gekozen voor een fietsaandrijving. De gebruiker is hierdoor in staat om op een zittende en comfortabele manier de aandrijving aan te sturen. De handen zijn vrij om te gebruiken en ondervinden minimale last van de schokkende aandrijfbeweging. Tevens hebben beenspieren meer kracht en zijn dus in staat grotere vermogens voor een langere tijd op te wekken.

### 3.2.2 Overbrengingen

Het eerste mechanisme dat noodzakelijk is voor een cycling desk, is een overbrenging. Het doel van deze paragraaf is om een overzicht te creëren van de voor- en nadelen van de verschillende mogelijkheden. De verschillende soorten overbrengingen zijn geanalyseerd in het boek Rollof-Matek machineonderdelen druk 6[9].

#### 3.2.2.1 Ketting

Kettingen zijn overbrengingen die veelal gebruikt worden bij vermogensoverdracht, bijvoorbeeld bij voertuigen en landbouwwerktuigen. Dit komt vanwege hun betrouwbaarheid en economisch gunstige kant. Het zijn op trek belaste overbrengingen, die over een grote afstand tussen twee parallelle, en waar gaat zo horizontaal mogelijke assen, kunnen worden toegepast.

Voordelen van een kettingoverbrenging ten opzichte van riemoverbrengingen zijn:

- de overbrenging is vormgesloten;
- de overbrengingsverhouding is constant;
- voorspanning is niet nodig;
- een kettingoverbrenging is ongevoelig voor vuil;
- een kleinere opstelling volstaat voor het overbrengen van eenzelfde vermogen;
- kettingoverbrengingen voor fietstoepassingen zijn veel goedkoper als deze met een riemoverbrenging.

De nadelen van een kettingoverbrenging ten opzichte van een riemoverbrenging zijn:

- het in hetzelfde vlak onder dezelfde hoek moeten liggen van de 2 assen;
- het duurder is wanneer er gekeken wordt per overgebracht vermogen.

### 3.2.2.2 Riem

Riemen zijn op trek belaste overbrengingen, ze kunnen door middel van wrijving of via een vormsluiting vermogen overbrengen tussen twee assen. Hierdoor zijn er verschillende soorten riemen zoals een V-riem of getande riem. Deze hebben ieder hun bijhorende poelies om gekoppeld te worden aan een as.

De voordelen van een riemoverbrenging ten opzichte van tandwiel- en kettingoverbrengingen zijn:

- een elastische krachtoverdracht, hierdoor zullen riemoverbrengingen die door wrijving hun vermogen overbrengen nooit, breken maar doorslippen;
- algemeen stille loop die ook minder stoten en trillingen genereert;
- een makkelijkere en goedkopere opbouw;
- het kunnen overbruggen van grotere afstanden;
- het geen nood hebben aan lubricatie waardoor er geen of weinig onderhoud nodig is;
- de grotere omtreksnelheden;
- een grotere overbrengingsverhouding per trap.

Nadelen van een riemoverbrenging ten opzichte van tandwiel- en kettingoverbrengingen zijn:

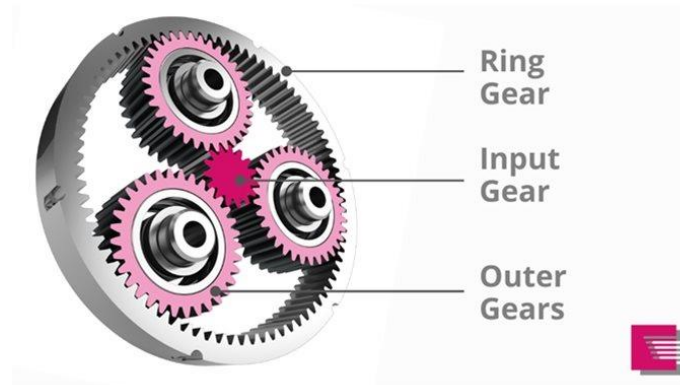
- geen constante overbrengingsverhouding bij riemen die door middel van wrijving hun vermogen overbrengen aangezien deze kunnen doorslippen. Dit is echter op te lossen door een vormgesloten riem te kiezen;
- een grote inbouwruimte nodig;
- beperkter toepassingsgebied wat betreft de temperatuur en omgevingsfactoren (stof, olie, vochtigheid enz.);
- elektrostatisch opladen van de riem door de wrijving die ontstaat tussen de riem en de riemschijven.

### 3.2.2.3 Tandwieloverbrengingen

Tandwielaandrijvingen zijn overbrengingen tussen twee tandwielen. Ze onderscheiden zich van de twee bovenstaande soorten overbrengingen door het feit dat er geen riem of ketting gebruikt moet worden tussen de verschillende assen. Hierdoor zijn de opstellingen vaak compacter. Ook zorgt dit ervoor dat het rendement relatief beter is. Door deze starre overbrenging kunnen er vaak trillingen ontstaan bij hogere toerentallen.

Er bestaan verschillende soorten tandwielaandrijvingen zoals de cilinder, kegel- en schroeftandwieloverbrengingen. Hieronder wordt alleen een speciale uitvoering namelijk het planetair tandwiel verder onderzocht. Dit omdat deze veelal toegepast wordt in navens van fietsen.

Planetaire tandwielen zijn tandwielen opgebouwd in een configuratie zoals de planeten rondom de zon. Deze configuratie wordt weergegeven in Figuur 9. Dit soort opbouw zorgt voor een gelijkmatigere overdracht van vermogen aangezien er gelijktijdig meerdere tandwielen in contact staan met het tandwiel op de uitgaande as. Ook zorgt dit ervoor dat bij een kleine overbrengingsverhouding ze een nog beter rendement hebben ten opzichte van de andere tandwieloverbrengingen.



Figuur 9: Opbouw planetair tandwiel[10]

#### 3.2.2.4 Besluit

Uit de vergelijking tussen de verschillende overbrengingen bleek dat een riemoverbrenging theoretisch gezien het meest rendabel was te gebruiken in een cycling desk door de stille loop en het onderhoudsvrij zijn.

Een riemoverbrenging kan op twee manieren geïmplementeerd worden in een cycling desk. De eerste manier maakt gebruik van 2 poelies verbonden door een V-riem. De poelies zijn in alle verschillende groottes beschikbaar wat het mogelijk maakt de ideale overbrengingsverhouding te bekomen. Het ruime assortiment zorgt er tevens ook voor dat dit de goedkoopste overbrenging is. Het nadeel hiervan is dat de poelies nog bewerkt zullen moeten worden zodanig dat deze bevestigd kunnen worden op de trapas en op de generator. Deze bewerkingen brengen dan weer een extra kost met zich mee.

De tweede soort riemoverbrengingen, die geen last hebben van dit nadeel, zijn riemoverbrengingen ontworpen voor een fiets. Deze uitvoeringen zijn opgebouwd uit een tandriem en twee complementaire tandwielen. Een voorbeeld hiervan is de Gates CDN aandrijving. Een complete Gates CDN aandrijving komt neer op ongeveer 200 euro.

Door het beperkte budget van deze masterproef en de samenwerking met Accell Group is er toch beslist om een kettingaandrijving te gebruiken. Meer specifiek een voortandwiel met 51 tanden met een 5-bouts bevestiging en een BCD-afstand van 110, welke complementair is met de 10 speed Shimano cassette en KMC X11 fietsketting.

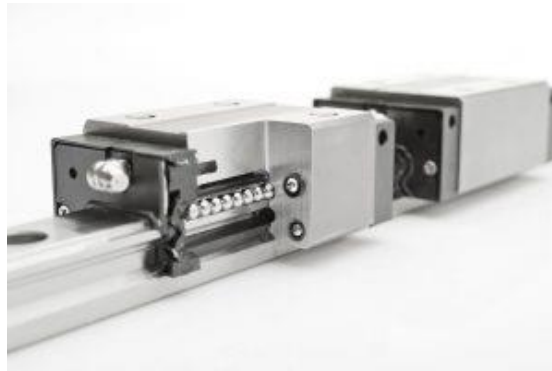
#### 3.2.3 Lineaire geleidingen

Het tweede noodzakelijke mechanische component is de lineaire geleiding van de stoel en het werkblad. Het doel van deze geleiding is om de gebruiker de mogelijkheid te bieden de cycling desk zo in te stellen dat deze op een manier gebruikt kan worden die als aangenaam ervaren wordt. Momenteel zijn er drie verschillende soorten lineaire geleidingen, deze worden hieronder verder besproken.

### 3.2.3.1 Profielrailgeleidingen

Een profielrailgeleiding, zoals weergegeven in Figuur 10 is een lineaire geleiding die opgebouwd is uit twee componenten namelijk een rail en een loopwagen. De rail is een profiel dat specifiek ontworpen wordt voor lineaire toepassingen en is vaak vervaardigd uit een gehard materiaal[11]. Over deze rail glijdt een loopwagen. Het glijden is mogelijk door de verschillende kogels die in de loopwagen aanwezig zijn. Het gebruik van deze kogels zorgt ervoor dat het contactoppervlak tussen loopwagens en rail geminimaliseerd wordt zodanig dat dit type geleiding een minimale weerstand heeft. Andere voordelen van dit type geleiding worden hieronder opgesomd[11]:

- hoog draagvermogen en grote stijfheid;
- belastbaar in alle richtingen;
- geschikt voor kleine inbouwruimte;
- geschikt voor toepassingen met een hoge versnelling en snelheid;
- hoogste nauwkeurigheid onder de verschillende lineaire geleidingen.



*Figuur 10: Profielrailgeleiding[12]*

### 3.2.3.2 Loopwielgeleidingen

Loopwielgeleidingen zijn lineaire geleidingen die over niet aangedreven wielen rollen, ook wel loopwielen genoemd. Meestal bestaat de geleiding uit een aluminium profiel met daarop twee assen gemonteerd waarop de loopwielen rijden. Er zijn twee verschillende soorten loopwielgeleidingen: één met 3 of 4V-vormige loopwielen die over een ronde as rijden, en een met een C-profiel waarin een slede beweegt, beiden zijn weergegeven in Figuur 11. De voordelen van een loopwielgeleiding worden hieronder opgesomd[11]:

- een lage rolweerstand;
- het kunnen behalen van hogere snelheden dan een kogelbus of profielrailgeleiding;
- de geleiding kan belast worden in alle richtingen;
- een goede vuilbestendigheid;
- ideaal voor moeilijk bereikbare toepassingen door het weinig tot geen onderhoud;
- goed bestand tegen ruwe omgevingsomstandigheden.



Figuur 11: Loopwielgeleiding[12]

### 3.2.3.3 Glijgeleidingen

Glijgeleidingen onderscheiden zich van de twee bovenstaande lineaire geleidingen door de afwezigheid van bewegende delen. Bij deze geleiding schuift de kar over geleiders, gemaakt van een materiaal met een lage wrijvingsweerstand (meestal kunststof) in plaats van erover te rollen. In Figuur 12 wordt een mogelijke toepassing hiervan weergegeven. Glijgeleidingen worden veelal gebruikt voor het nauwkeurig positioneren van voorwerpen en zijn bijzonder geschikt voor toepassingen die handmatig versteld moeten worden[13]. De voordelen die deze geleiding heeft, zijn hieronder weergegeven:

- hoog statisch draagvermogen,
- onderhoudsvrij,
- goed bestand tegen noodloop,
- compacte bouwwijze,
- geluidsarm.



Figuur 12: Glijgeleiding[12]

### 3.2.3.4 Besluit

In het literatuuronderzoek zijn verschillende geleidingssystemen onderzocht. Hoewel meerdere geleidingen geschikt waren voor dit doel, is de uiteindelijke keuze bepaald door de kostprijs. Om de kosten zo laag mogelijk te houden, is besloten om een eenvoudige maar effectieve glijgeleiding te ontwerpen.

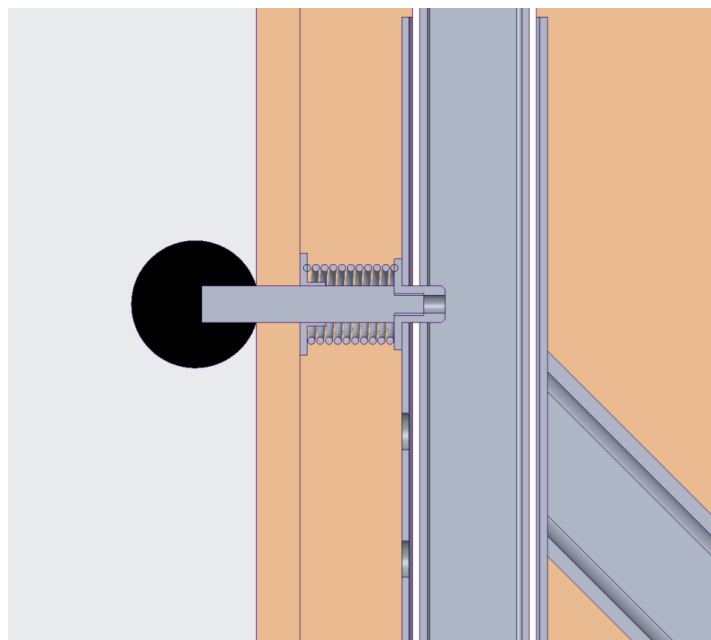
De glijgeleiding bestaat uit twee profielen, één van 2x30x30mm en een van 4x40x40mm, die in elkaar schuiven zoals weergegeven in Figuur 13. Tussen deze profielen bevindt zich een spleet van 2mm, waarin een dunne laag teflonmateriaal is bevestigd. Teflon staat bekend om zijn uitstekende glijeigenschappen, waardoor de profielen gemakkelijk over elkaar kunnen schuiven. Bijkomende gunstige eigenschappen van teflon zijn dat indien het polymeer zwaarder belast wordt, de wrijvingscoëfficiënt daalt, waardoor het niet beïnvloed wordt door het stick slip effect[14]. Ook werkt teflon trilling dempend waardoor de schokken die ontstaan bij het trappen minder voelbaar zullen



zijn aan het werkblad. Ten slot is PTFE chemisch-en weersbestendig alsook neemt het geen vuil of vocht op waardoor het weinig tot geen onderhoud vereist[14].

Om het werkoppervlak te vergrendelen, is er een zelfontworpen systeem toegepast. Dit systeem bestaat uit een kogelknop met daarin een bevestigde as. Door aan de knop te trekken, trekt de as zich terug uit het 4x40x40mm profiel, waardoor het werkoppervlak kan bewegen. Wanneer de knop boven een van de vijf mogelijke posities wordt losgelaten, schiet de as met behulp van een veer terug en vergrendelt het profiel zich weer.

Dit ontworpen geleidingssysteem en vergrendelingsmechanisme biedt een kosteneffectieve oplossing voor het verplaatsbaar maken van het werkoppervlak. Het gebruik van teflonmateriaal in combinatie met de glijgeleiding zorgt voor soepele beweging, terwijl het vergrendelingsmechanisme de gewenste stabiliteit biedt wanneer het werkoppervlak op zijn plaats moet blijven.



*Figuur 13: Doorsnede lineaire geleiding werkoppervlak*

Voor het verstelbaar maken van de zadelhoogte wordt er gebruik gemaakt van de zadelopstelling van een Nautilus R626 ligfiets, weergegeven in Figuur 14. Deze opstelling is opgebouwd uit een gelzadel dat bevestigd is op een slee welke met 4 v-vormige loopwielen over een geleidingsprofiel loopt. Het in positie vergrendelen van het zadel gebeurt door het trekken aan een hendel. Deze hendel bedient een nok welke een klemkracht uitoefent op het geleidingsprofiel. Hierdoor is het mogelijk de stoel in te stellen op elke mogelijke hoogte binnen het bereik van het geleidingsprofiel.



*Figuur 14: Stoelassenblage Nautilus R626*

### 3.3 Vormgevende fase

De finale fase in het productieproces is de vormgevende fase. Bij het ontwerp van een cycling desk wordt er in deze fase een frame ontwikkeld dat mogelijkheden biedt om de reeds eerder gekozen mechanische componenten te combineren tot één geheel. Het frame zal niet enkel dienen voor de bevestiging van de componenten maar zal ook veel invloed hebben op het uiteindelijke design van de cycling desk. Het ontwerp van dit frame is in eerste instantie gebaseerd op de verschillende eisen omtrent de ergonomie van bureaumeubels, welke geanalyseerd zijn door middel van een literatuurstudie. Tot slot is het ontwerp van het frame verder geoptimaliseerd met behulp van een testopstelling. Ook wordt er in deze fase een ontwerp gemaakt van een omkasting om rond de cycling desk te plaatsen.

#### 3.3.1 Opbouw frame

De ergonomie van de cycling desk is belangrijk om het comfort van de studenten die gebruik willen maken van de cycling desk te garanderen. Daarnaast zorgt een correcte zithouding ook voor een betere efficiëntie aangezien de kracht uitgeoefend op de pedalen efficiënter omgezet wordt in energie[15]. Bovendien zorgt een slechte zithouding ervoor dat de gebruiker sneller vermoeid zal geraken, zadelpijn zal ondervinden en huidirritaties kan oplopen. Door deze redenen worden eerst de eisen in verband met de ergonomie en zithouding waaraan toestellen met een gelijkaardig gebruik als een cycling desk moeten voldoen onderzocht.

De vereiste afmetingen van een bureau meubel om aan de ergonomische normen te voldoen zijn vastgelegd [16]. Deze zijn gebaseerd op een gestandaardiseerde bureaustoel en hebben als doel de kantoorwerkers te beschermen op vlak van gezondheid en veiligheid. De maten zijn representatief voor Europeanen en zijn samengevat in tabellen voor verschillende modellen van stoelen. In de tabellen weergegeven in bijlage A, wordt er gekeken naar het hoge kantoor model en het type Ax bureaustoel, dit is het type bureaustoel dat de meeste instelbaarheden biedt. Aangezien het een doel van dit project is om een zo flexibel mogelijke cycling desk te maken, zal er gekeken worden naar de eisen omtrent dit type bureaumeubel.

Omdat op een cycling desk niet alleen achter een bureau gezeten zal worden maar ook gefietst, is ook de geometrie van fietsen in beschouwing genomen. Voor de geometrie is voornamelijk de lengte van het binnenbeen, bovenbeen, romp- en armlengte van belang[17]. De belangrijkste afmetingen met betrekking tot dit onderzoek zijn de zadel- en zitbuishoogte. Deze kunnen eenvoudig berekend worden door de binnenbeenlengte te vermenigvuldigen met een factor. Deze factor is weergegeven in Tabel 2. In deze tabel staat ook de hoek waaronder de zitbuis staat ten opzichte van de grond weergegeven. Om de gebruiker een comfortabele zithouding aan te bieden is, er gewerkt met de gegevens uit de kolom “stad”.

Tabel 2: Factoren voor het bepalen van de geometrie van een fiets[17]

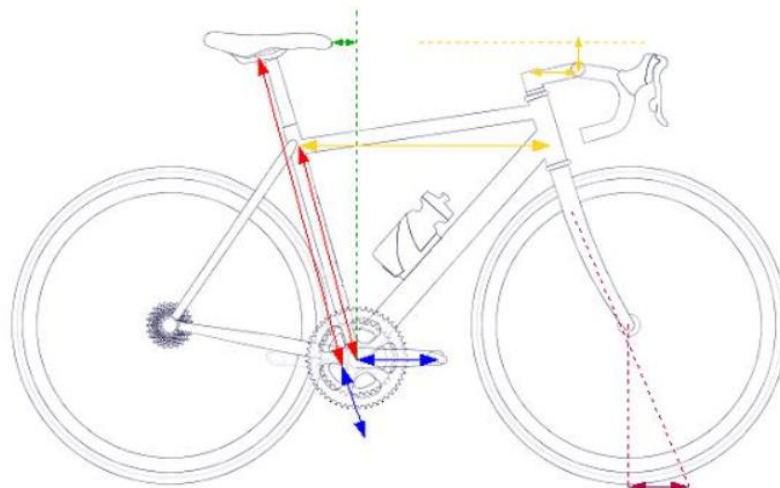
Fietsmaat	Lichaamsmaat	Racefiets	Touring	Stad
Zitbuislengte	binnenbeenlengte	0,66	0,67	0,68
Zitbuishoek	bovenbn/binnenbnl.	73-76°	71-72°	66-70°
Pedaallengte	binnenbeenlengte	0,204	0,204	17cm
Zadelhoogte	binnenbeenlengte	0,88	0,88	0,88
Zadelerugstand	bovenbeenlengte	0,193	0,193	–
Bovenbuislengte	romp + armlengte	0,49	0,49	0,49
Stuurpenlengte	romp + armlengte	0,11	0,11	0,11
Stuurhoogte	armlengte	0,132	gelijk	hoger
Naloop	.	6cm	5,5cm	5cm
Hoogte trapas	.	26cm	.	.

Om de cycling desk toegankelijk te maken voor personen tussen de 1.59 en 1.96m is hiervan de zadel- en zitbuislengte berekend. Voor deze berekeningen zijn de geschatte binnenbeenlengtes gebruikt [18]. De bekomen waarden zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Berekende zadel- en zitbuislengtes voor personen tussen 1.59 en 1.96m.

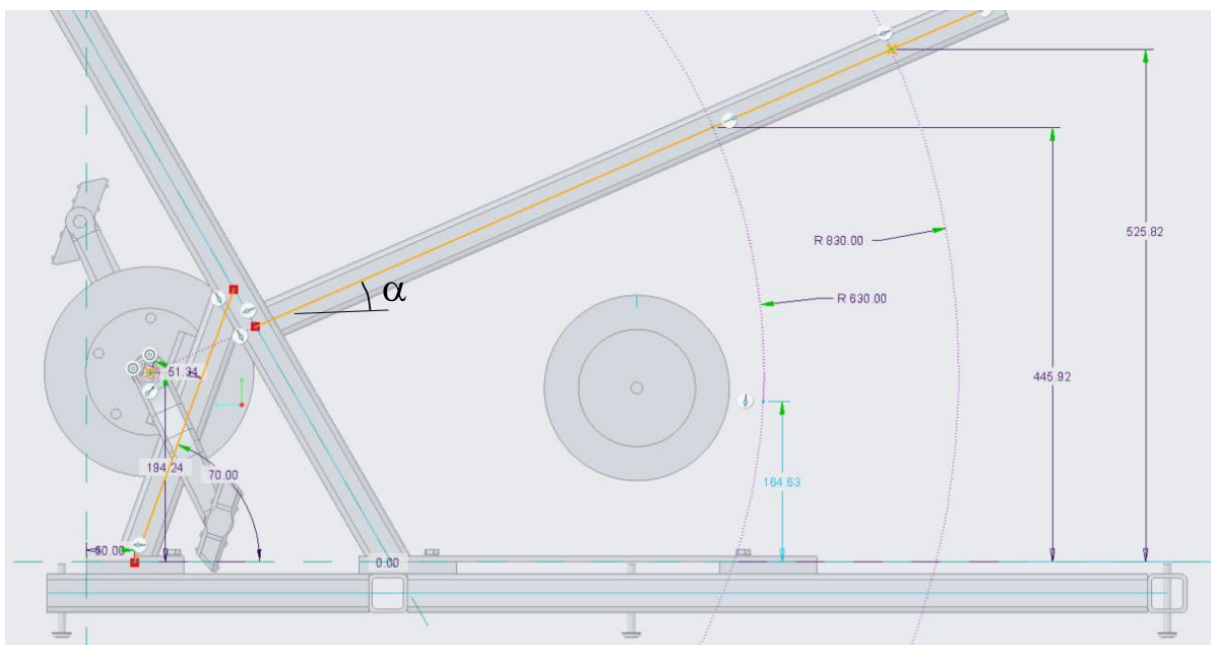
Lichaamslengte (cm)	Geschatte binnenbeenlengte (cm)	Bovenlichaamlengte (cm)	Zadelhoogte (88%) (cm)	Zitbuis (68%) (cm)
159	72	87	63	49
162	74	88	65	50
165	76	89	67	52
168	77	91	68	52
171	79	92	70	54
174	81	93	71	55
177	82	95	72	56
180	84	96	74	57
184	86	98	76	58
187	88	99	77	60
190	91	99	80	62
194	93	101	82	63
196	94	102	83	64

De zadelhoogte en zitbuishoogte zijn in Figuur 15 weergegeven door de lange rode en gele pijl, deze dienen als basis voor de dimensionering van het cycling desk frame.



Figuur 15: Belangrijke afstanden voor het dimensioneren van een fiets[19]

Figuur 16 toont de afmetingen van de eerste iteratie van het zitgedeelte van het frame. Deze constructie is gecentreerd rond het midden van de trapas, waarbij constructiecirkels zijn getrokken met stralen van 630 en 830 mm vanaf dit middelpunt. Deze afmetingen komen overeen met de minimaal en maximaal berekende zadelhoogtes zoals vermeld in Tabel 3. Door deze punten met elkaar te verbinden, ontstaat een rechte lijn waarop het zadel wordt geplaatst. Door het zadel langs deze lijn te verplaatsen, kunnen alle mogelijke zadelhoogtes worden ingesteld voor personen met een lengte tussen 1,59 m en 1,96 m. De richting van het zadelprofiel wordt bepaald door de hoek alfa. Voor een stadsfiets moet de zitbuishoek tussen 66-70° liggen, en door de complementaire hoek van 22° te gebruiken voor alfa, wordt ook aan deze eis voldaan. De zithoogte voor personen kan bij dit ontwerp dus variëren tussen 445 en 525 mm, wat mooi binnen de maximale en minimale waarden ligt die zijn vastgelegd in de tabellen weergegeven in bijlage A.

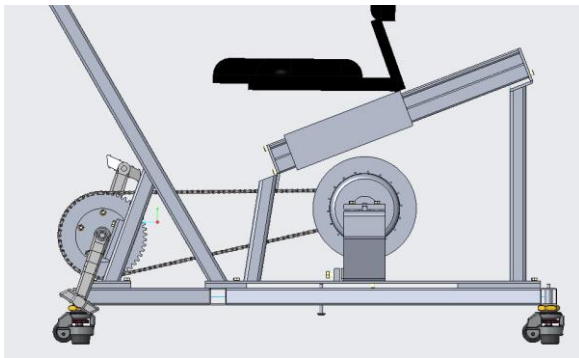


Figuur 16: Sketch op basis van ergonomische afmetingen

In de eerste iteratie van het frame wordt nog geen rekening gehouden met de geometrie van de Nautilus R626 Stoel-assemblage. Om dit aspect te verbeteren, worden verdere afmetingen verkregen door middel van een testopstelling, zoals weergegeven in Figuur 17. Bij deze verfijning worden ook de afmetingen van onderdelen zoals de generator en batterij in overweging genomen, die op een later tijdstip aan het ontwerp worden toegevoegd. De hoek van het geleidingsprofiel in de testopstelling is overgenomen van het digitale ontwerp en bedraagt  $22^\circ$ . Door de gehele opstelling te verplaatsen en vervolgens personen erop te laten plaatsnemen, kan de uiteindelijke positie van de stoelmontage worden bepaald. De testpersonen hebben een lengte tussen 1,70 m en 1,85 m. De positie van de stoel op het geleidingsprofiel is aangepast op basis van de lengte van elke persoon. Op de uiteindelijke positie is er voldoende ruimte om de stoel zowel naar voren als naar achteren te verstellen, zodat ook personen met een lengte tussen 1,59 m en 1,96 m plaats kunnen nemen. Op basis van de gemeten afmetingen van de stoel alsook trapas is de tweede iteratie van het frame ontworpen, zoals te zien is in Figuur 18.



*Figuur 17: Testopstelling geometrie cycling desk*

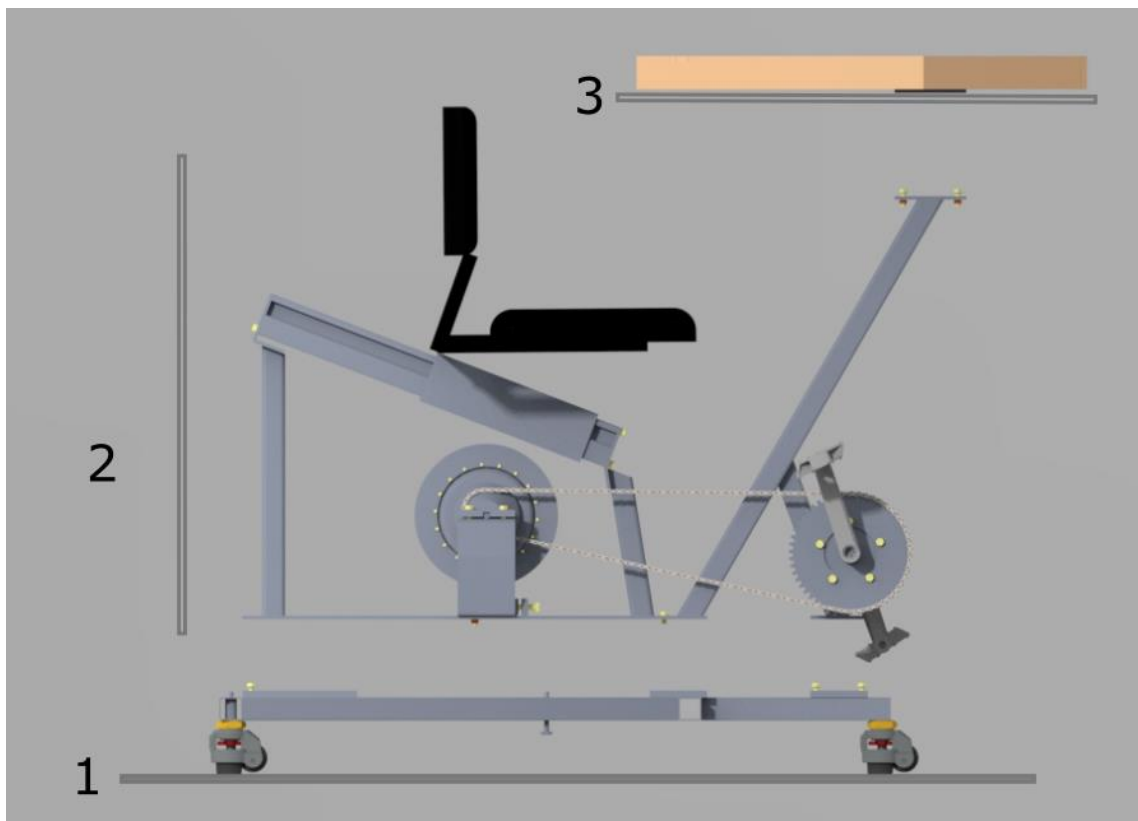


*Figuur 18: Bekomen ontwerp op basis van de proefopstelling*

Door de aankoop van deze stoel-assemblage is er ook voldaan aan de ergonomische eisen met betrekking op met het zitvlak van een bureaustoel, deze eisen staan opgelijst in Bijlage A.

De mobiliteit van de cycling desk is een belangrijke doelstelling van dit project, er is in het ontwerp van het frame op verschillende manieren rekening mee gehouden. Om de mobiliteit in gemonteerde toestand te vergemakkelijken, is het frame uitgerust met 3 nivelleringswielen. Hierdoor kan er eenvoudig worden gewisseld tussen een vast verankerde cycling desk en een mobiele rijdende cycling desk. Een bijkomend voordeel van deze wielen is dat de cycling desk waterpas kan worden gezet. De maximale breedte van het frame is ook vastgesteld op 820 mm. Deze keuze is gebaseerd op de standaardafmetingen van doorgangen in België, die 830 mm bedragen [20].

Om ook de mobiliteit in gedemonteerde toestand te vergemakkelijken, is het frame opgebouwd uit 3 verschillende vlakken. Het eerste vlak is het horizontale grondvlak. Het tweede vlak is het verticale vlak en het derde vlak is het horizontale vlak waarin het werkblad zich bevindt. Een overzicht van deze vlakken is weergegeven in Figuur 19.



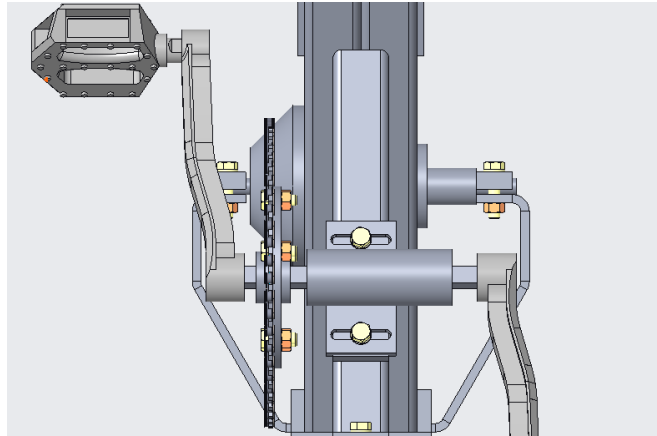
*Figuur 19: Opdeling cycling desk in deelvlakken*

Deze opbouw heeft verschillende voordelen. Ten eerste zijn de verschillende delen van de cycling desk verbonden door middel van lasplaatjes. Deze lasplaten zijn telkens 12mm dik en voorzien van getapte gaten waardoor de M8 bouten bevestigd kunnen worden zonder het gebruik van moeren. Dit laat toe de cycling desk handig te monteren en demonteren met behulp van één sleutel.

Ook zijn er geen componenten uit een deelvlak verbonden met componenten uit andere vlakken. Wanneer de cycling desk gedemonteerd wordt, moeten er geen kabels of andere componenten losgemaakt worden.

### 3.3.2 Uitlijning

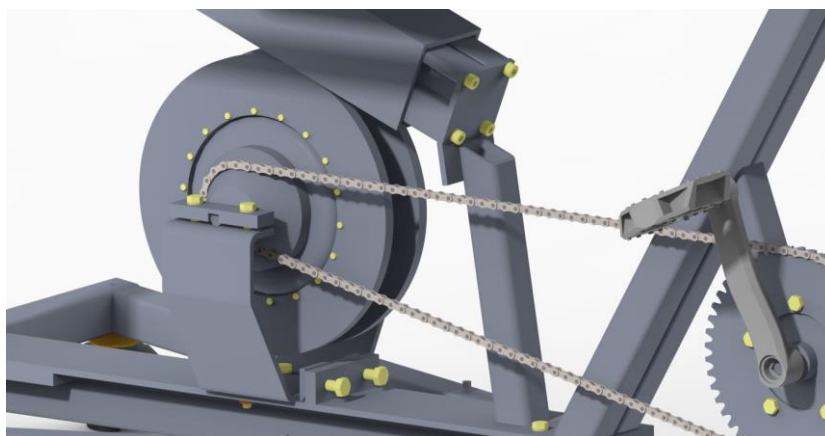
De bevestiging van de trapasassemblage is voorzien van slobgaten. Het doel hiervan is tweevoudig, ten eerste is het mogelijk de kettingoverbrenging tussen het tandwiel en de cassette uit te lijnen. Hierdoor zal de ketting minder snel verslijten als ook soepeler bewegen. Het tweede doel van deze opbouw heeft te maken met het niet kunnen testen van de elektrische opstelling, waardoor de ideale overbrengingsverhouding niet bepaald is. Door het gebruik van slobgaten kan de ketting zodanig opgeschoven worden dat het hele bereik van de cassette overbrugd wordt. Dit maakt het mogelijk in vervolgonderzoeken wel de overbrengingsverhouding, die het meeste vermogen zal opwekken, te bepalen. De bevestiging van de trapas-assemblage is getoond in Figuur 20.



*Figuur 20: Montagepunt trapas-assemblage.*

De 17.5mm die de slobgaten van de trapasassemblage kan overbruggen, is niet voldoende om het hele bereik van de cassette te overbruggen. Om dit op te lossen is ook de slee waarop de generator gemonteerd is, uitgevoerd met slobgaten. Dit geeft nog een 10.5mm extra speling. In totaal kan de opstelling dus 27.5mm opgeschoven worden, wat voldoende is om zowel het kleinste als grootste tandwiel van de cassette te gebruiken. Ook is het hierdoor mogelijk de motor op te schuiven zodanig dat de trapas-assemblage in het midden van het frame kan blijven staan.

Bij veelvuldig gebruik van de cycling desk zal de ketting uitrekken. Om een doortrappende ketting tegen te gaan is de generator gemonteerd op een slee zoals weergegeven in Figuur 21. Deze slee kan door middel van 2 bouten naar achteren verschoven worden om op deze manier de ketting bij te spannen. Bijkomend zorgt deze opstelling ervoor dat het achterste en voorste tandwiel van de kettingoverbrenging parallel uitgelijnd kunnen worden.



*Figuur 21: Motorslee*

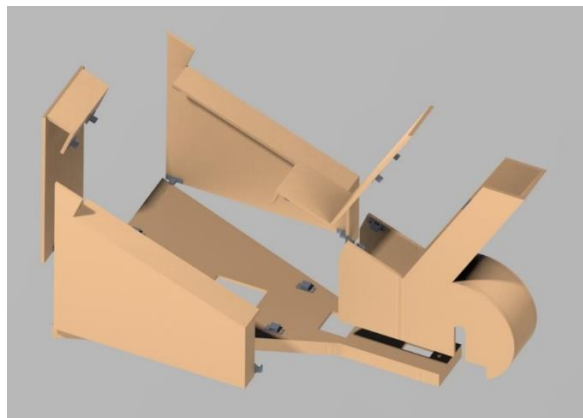
### 3.4 Afwerking

Een laatste essentiële vereiste van deze masterproef is dat de cycling desk een modern trendy design heeft, dat gebruikers aantrekt om de cycling desk te gebruiken en tegelijkertijd de ruimte waarin deze wordt geplaatst, verfraait. Het ontwerp van de behuizing is gerealiseerd in PTC Creo. Deze werkwijze heeft als voordeel dat de onderdelen afgestemd zijn op het eerder ontworpen frame, waarop de mechanische componenten gemonteerd zijn. In Figuur 22 is de afgewerkte cycling desk weergegeven.



*Figuur 22: Omkasting cycling desk gemonteerd op frame*

De omkasting is ingedeeld in 6 verschillende subassemblages zoals weergegeven in Figuur 23. Elk van deze subassemblages bestaat uit geschroefde en verlijmden stukken 12mm multiplex.



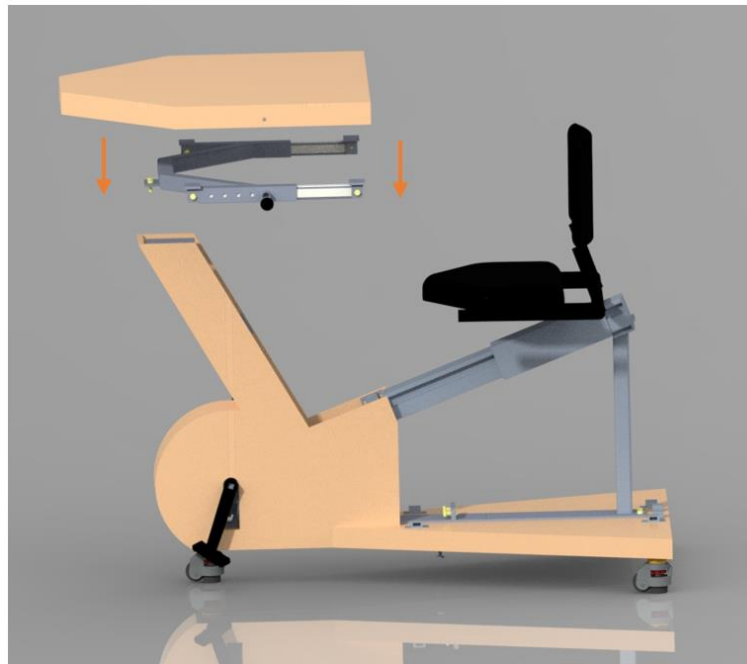
*Figuur 23: Omkasting ingedeeld in verschillende subassemblages*

Vanwege de keuze voor onderhoudsvriendelijke mechanische componenten is het niet noodzakelijk dat de behuizing eenvoudig gedemonteerd kan worden. Echter, om bij te dragen aan de mobiliteit in gedemonteerde staat, is de behuizing zo ontworpen dat deze zonder gereedschap gedemonteerd kan worden. Om dit mogelijk te maken is er gebruik gemaakt van rolsnappers en wijsluitingen. Een extra voordeel van dit ontwerp is dat het spannen van de fietsketting eenvoudig kan worden uitgevoerd door de zijpanelen te verwijderen.



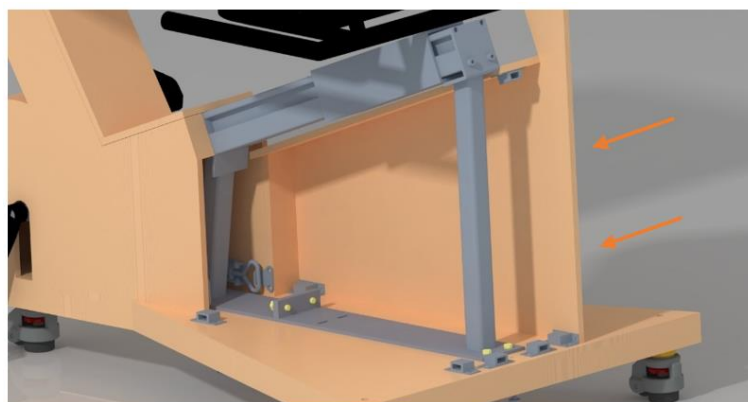
Figuur 24 tot en met Figuur 28 tonen de verschillende stappen waarin de omkasting gemonteerd en gedemonteerd moet worden.

De eerste stap is het monteren van de bodemplaat en de voorkant van de omkasting. Deze twee stukken moeten eenmalig gemonteerd worden wanneer het frame geassembleerd wordt. Het middelste deel van het frame zorgt er namelijk voor dat de bodemplaat niet heen en weer kan bewegen. Het frame waarop het tafelblad gemonteerd zit, zorgt voor het vergrendelen van het voorste deel van de omkasting. In deze stap kan ook het tafelblad gemonteerd worden, dit kan gemonteerd blijven eens het voorste deel van de omkasting op zijn plaats zit. Dit wordt weergegeven in Figuur 24.



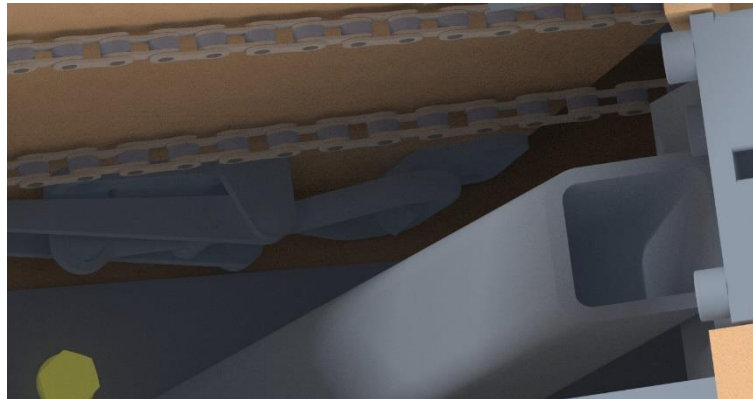
*Figuur 24: Eerste stap montageproces omkasting*

De tweede stap is het monteren van de zijpanelen. Deze kunnen ook eenvoudig op de bodemplaat verankerd worden door het in elkaar klikken van de rolsnappers. Deze stap wordt weergegeven in Figuur 25.



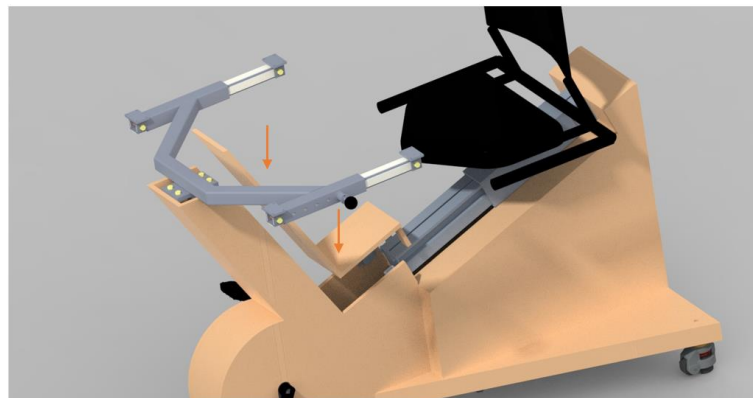
*Figuur 25: Tweede stap montageproces omkasting*

Vervolgens kunnen de zijpanelen verbonden worden met het voorste deel van de omkasting. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van wipsluitingen. Dit zorgt ervoor dat de zijpanelen niet zomaar losgemaakt kunnen worden alsook dat het voorste deel van de omkasting op zijn plaats blijft. De wipsluiting wordt getoond in Figuur 26.



*Figuur 26: Sluiten wipsluitingen*

De derde stap is het monteren van de afdekplaat voor het voorste deel van de omkasting. Dit kan eenvoudig gebeuren door deze naar beneden te duwen zodanig dat de rolsnappers in elkaar klikken. In Figuur 27 is dit weergegeven, hierbij is het tafelblad onzichtbaar gemaakt om het beter te kunnen tonen.



*Figuur 27: Derde stap montageproces omkasting*

Deze plaat kan dus zeer eenvoudig gedemonteerd worden om de wipsluitingen terug los te maken.

De laatste stap in het montageproces is het monteren van de achterplaat. Deze plaat kan ook eenvoudig vastgeklikt worden op de onderplaat en de zijplaten. De laatste stap is weergegeven in Figuur 28



*Figuur 28: Vierde stap montageproces omkasting*

### 3.5 Configuraties

Door het modulaire ontwerp van de cycling desk kan deze opgebouwd worden in verschillende configuraties. In dit hoofdstuk van het mechanische ontwerp worden de meest voor de hand liggende opstellingen kort besproken.

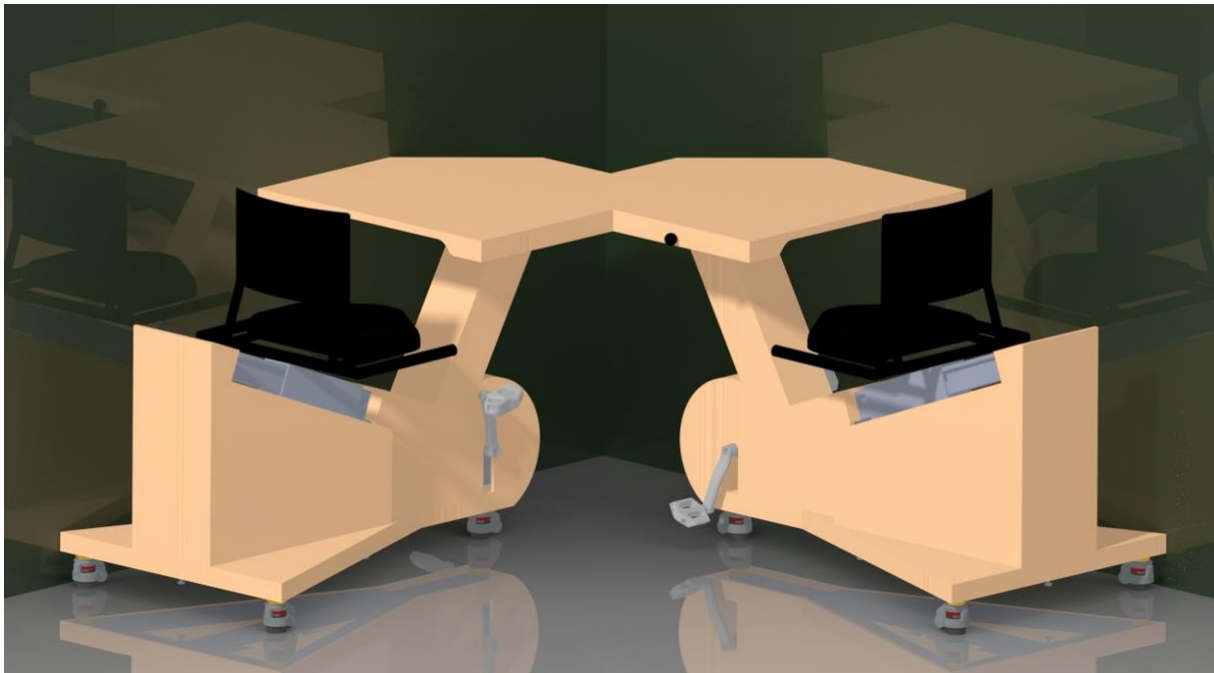
In de eerste configuratie staan vier cycling desks zoals, weergegeven in Figuur 29, in een kruis opgesteld. Deze configuratie is mogelijk door het onder 45° afgeschuinde tafelblad. In deze configuratie zitten de vier gebruikers richting elkaar, dit creëert een aangenaam cocon-gevoel alsook is het makkelijk om in deze configuratie te converseren of in groep samen te werken.

In het midden van deze opstelling bevindt zich een vierkant gat. In dit gat kan een zuil geplaatst worden met daarop een scherm dat dient voor het weergeven van de visualisatie. Deze zuil zou wel door het elektriciteitsnet gevoed moeten worden en zou minder bijdragen aan het groene imago van de cycling desk.



*Figuur 29: Cycling desks in kruisopstelling*

De tweede configuratie, weergegeven in Figuur 30, maakt gebruik van twee cycling desks, welke door de specifieke vorm van het tafelblad in een hoek van 90° tegen elkaar en/of in een hoek gezet kunnen worden. Het voordeel van deze opstelling is dat het toepassingsbereik van de cycling desk wordt vergroot.



*Figuur 30: Cycling desks in hoekopstelling*

In de derde configuratie staan de cycling desk geschrinkt opgesteld. Ook in deze positie zitten de gebruikers tegenover elkaar en kunnen op deze manier goed communiceren en samenwerken. Het grootste verschil tussen deze configuratie en de vorige is dat er meerdere cycling desks kunnen worden bijgevoegd.



*Figuur 31: Cycling desk in geschrante opstelling*

## 3.6 Berekeningen

In dit deel van de thesis worden al de berekeningen die betrekking hebben op het mechanisch ontwerp uitgelegd.

### 3.6.1 Berekening vliegwiel

Er wordt gestart met de nodige energie die het vliegwiel moet opslaan te berekenen. Hierbij wordt gesteld dat de gebruiker van de cycling desk elke halve trap energie levert en het vliegwiel de andere helft moet compenseren om een aangenaam trapegevoel te creëren. Een gemiddeld ongetraind student kan voor een half uur een consistent vermogen tussen de 100W en 150W leveren met een cadans van 60-80tr/min [21]. De berekening van het vliegwiel is gebaseerd op een trapvermogen van 100W en een cadans van 60tr/min. Verder wordt het vliegwiel gemonteerd op elke kant van de generator en heeft het de vorm van een holle schijf met een dikte van 12mm.

De formule om uit deze gegevens de nodige energie te halen staat in vergelijking 3.1.

$$E = P * t \quad (3.1)$$

$$E = 100W * 0.5s$$

$$E = 50J$$

Vervolgens wordt de straal van het vliegwiel berekend uit vergelijking 3.2( 3.2.

$$E = \frac{1}{2} * I * \omega^2 \quad (3.2)$$

Waarbij de traagheid van een holle schijf kan geschreven worden volgens vergelijking 3.3. Er wordt gebruik gemaakt van een holle cilinder omdat het vliegwiel rondom de generator gemonteerd wordt. De gaten voor het spaken van de generator in een fietswiel worden opnieuw gebruikt om het vliegwiel te monteren op de generator.

$$I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)^2 \cdot d \quad (3.3)$$

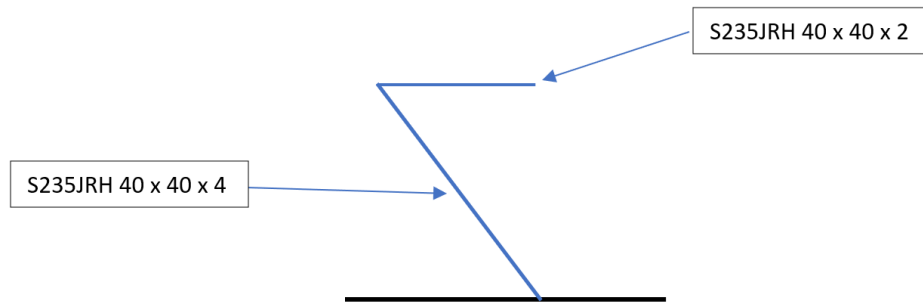
In het mechanisch ontwerp wordt het vliegwiel gemonteerd op de buitendiameter van de generator. Uit deze motorafmetingen wordt dan de kleinste straal van de holle schijf gehaald, deze bedraagt 85mm. Het vliegwiel wordt vervaardigd uit staal met een massadichtheid van 7800kg/m<sup>3</sup> en een dikte van 24mm. De hoeksnelheid wordt bepaald met behulp van de overbrengingsverhouding die 52/11 bedraagt. Met deze gegevens kan dan de straal bepaald worden door vergelijking 3.3 te substitueren in vergelijking 3.2. In vergelijking 3.4 is hiervan het resultaat weergegeven.

$$50J = \frac{1}{2} * \left( \frac{1}{2} * 7800 * \pi * (R^2 - r^2)^2 * 24 * 10^{-3} \right) * \left( 2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot \frac{52}{11} \right)^2 \quad (3.4)$$

$$R = 0.163m = 0.16m$$

### 3.6.2 Sterkteberekening frame

Voor de sterkteberekeningen van het frame is er een belasting van 130kg op het uiterste punt van het werkblad aangelegd, deze belasting stelt een student voor die op het uiteinde van het tafelblad gaat zitten. Bij deze opstelling wordt het grootst mogelijke buigmoment gecreëerd welke bepalend zal zijn voor de constructie. Het frame is opgebouwd uit twee verschillende kokerprofielen. In Figuur 32 is een vereenvoudigde schets weergegeven waarin de verschillende profielen zijn aangeduid.



Figuur 32: Vereenvoudigde schets frame

In Tabel 4 staan de verschillende eigenschappen van de 2 profielen welke nodig zijn om de controleberekening van het frame uit te voeren.

Tabel 4: Gegevens profielen

Materiaal	Afmetingen [mm]	Weerstandmoment[mm <sup>3</sup> ]	Traagheidsmoment[mm <sup>4</sup> ]
S235JRH	40 * 40 * 4	5.54 * 10 <sup>3</sup>	11.1 * 10 <sup>4</sup>
S235JRH	40 * 40 * 2	3.47 * 10 <sup>3</sup>	6.94 * 10 <sup>4</sup>

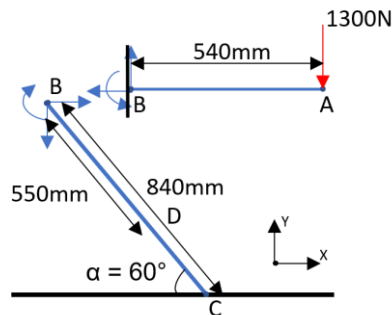
Om ervoor te zorgen dat de profielen in het frame van de cycling desk zeker sterk genoeg zijn, is er gerekend met de veiligheidsfactor van een statische sprong-en schommel belasting. Met deze aanname kan de maximaal toelaatbare spanning berekend worden aan de hand van vergelijking 3.5. De maximaal optredende spanning is noodzakelijk bij de controle of een profiel al dan niet voldoet aan de toepassing.

$$\sigma_{\text{toelaatbaar}} = \text{Vloegrens} * 0.7 * \text{veiligheidsfactor van belastingsgeval} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\text{toelaatbaar}} = 235 \frac{N}{\text{mm}^2} * 0.7 * \frac{2}{3}$$

$$\sigma_{\text{toelaatbaar}} = 109.67 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

In Figuur 33 is het vrijlichaamsschema van het frame gegeven, hierbij is elk profiel apart getekend. De krachten aangeduid in punt B zijn snede krachten, daarom zijn deze tegengesteld in elk van de 2 profielen. Aan de hand van dit vrijlichaamsschema wordt de maximaal optredende spanning bepaald in punt B.



Figuur 33: VLS frame

In een volledig vrijgemaakt profiel kan gesteld worden dat het volledig statisch is alsook dat zowel de som van de krachten in elk van de as-richtingen als de som van de momenten rond elk van de assen gelijk is aan 0. Aangezien er geen kracht in de X richting van het profiel tussen [AB] ligt zal de reactiekracht in de X richting 0 zijn. De berekening voor de reactiekracht en de het buigmoment worden getoond in vergelijking 3.6 en 3.7.

$$\sum F_y = 0 \quad (3.6)$$

$$-1300N + F_{By} = 0$$

$$F_{By} = 1300N$$

$$\sum M = 0 \quad (3.7)$$

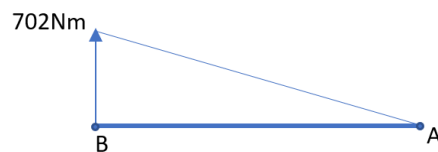
$$1300N * 0.540m - M_B = 0$$

$$M_B = 702Nm$$

Het dwarskrachtendiagram en het buigmomentendiagram komen voort uit de vrijgemaakte sneden. De analyse van de bekomen diagrammen zijn getoond in Figuur 34 en Figuur 35. Uit een analyse van deze diagrammen kon het zwaarst belaste punt in het profiel bepaald worden wat overeenkomt met punt B in beide figuren.



Figuur 34: Dwarskrachtendiagram



Figuur 35: Buigmomentendiagram

De maximaal optredende spanning is bepaald aan de hand van vergelijking 3.8.

$$\sigma_{max} = \frac{M_b}{W} \quad (3.8)$$

$$\sigma_{max} = \frac{702 * 10^3 Nmm}{2 * 3.47mm^3 * 10^3}$$

$$\sigma_{max} = 101.25 \frac{N}{mm^2}$$

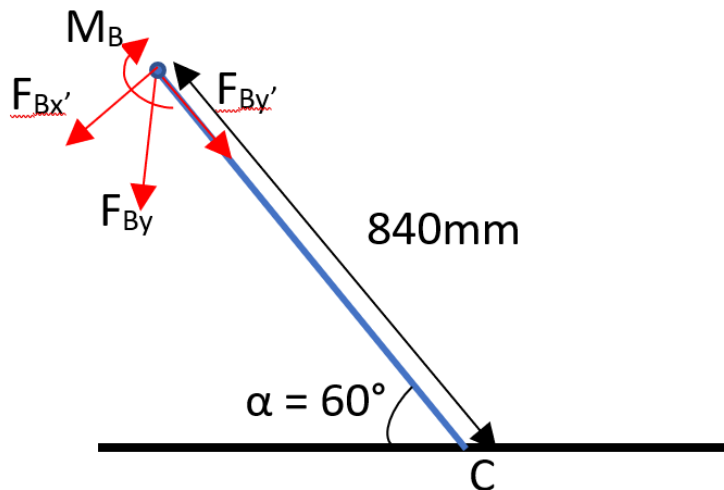


De maximaal optredende spanning bedraagt  $101.25\text{N/mm}^2$ , dit ligt onder de maximaal toegelaten spanning welke  $109.67\text{N/mm}^2$  bedraagt. Hieruit volgt dat het profiel voldoet voor deze toepassing.

Vervolgens wordt de maximale doorbuiging van het profiel berekend door de superpositiemethode toe te passen. Deze methode houdt rekening met de verplaatsing en hoekverdraaiing van al de aanwezige profielen. In dit geval wordt de totale doorbuiging bepaald door de buiging veroorzaakt door de hoekverdraaiing van profiel [BC] op te tellen met de buiging veroorzaakt door de kracht in punt A.

$$V_{tot} = V_1 + V_2 \quad (3.9)$$

De eerste stap in deze berekening is bepalen hoe groot de hoekverdraaiing van het dikste profiel [BC] is. Een vereenvoudigde schets van de krachtenverdeling is gegeven in Figuur 36. Hierbij wordt de reactiekracht  $F_{By}$  berekend in vergelijking (3.6), gebruikt. Deze wordt ontbonden in twee componenten waarbij de  $F_{Bx'}$  component zorgt voor een hoekverdraaiing. De  $F_{By'}$  component staat in de lengterichting van het profiel en zorgt dus niet voor een hoekverdraaiing.



Figuur 36: Superpositie snede 1

$$F_{Bx'} = \cos(60^\circ) * F_{By} \quad (3.10)$$

$$F_{Bx'} = \cos(60^\circ) * 1300\text{N}$$

$$F_{Bx'} = 650\text{N}$$

$$\theta_B = \frac{F_{Bx'} * L}{2 * E * I} - \frac{M_b * L}{E * I} \quad (3.11)$$

$$\theta_B = \frac{650\text{N} * 525^2\text{mm}}{2 * 210\text{GPA} * 10^3 * 2 * 11,1 * 10^4\text{mm}^4} - \frac{702 * 10^3\text{Nm} * 525\text{mm}}{210\text{GPA} * 10^3 * 2 * 11,1 * 10^4\text{mm}^4}$$

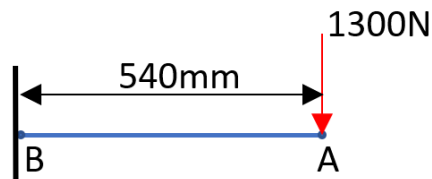
$$\theta_B = -0,005984\text{Rad}$$

De tweede stap in de berekening is kijken hoeveel doorbuiging de hoekverdraaiing van profiel [BC] veroorzaakt op profiel [AB]. De uitwerking hiervan staat in vergelijking 3.12.

$$V_1 = \theta_B * [AB] \quad (3.12)$$

$$V_1 = 3,23\text{mm}$$

De laatste stap is het berekenen van de doorbuiging veroorzaakt door de belasting van 130kg in het profiel [AB]. Een vereenvoudigde weergave van de snede waarin de berekeningen uitgevoerd worden, is weergegeven in Figuur 37. De maximale doorbuiging is bepaald door het invullen van vergelijking 3.13.



Figuur 37: superpositie snede 2

$$V_2 = \frac{1300 * L^3}{3 * E * I} \quad (3.13)$$

$$V_2 = \frac{1300N * 540^3mm}{3 * 210GPA * 10^3 * 22,2 * 10^4mm^4}$$

$$V_2 = 1,46mm$$

De maximale doorbuiging in punt A kan nu berekend worden door het toepassen van substitutie en bedraagt.

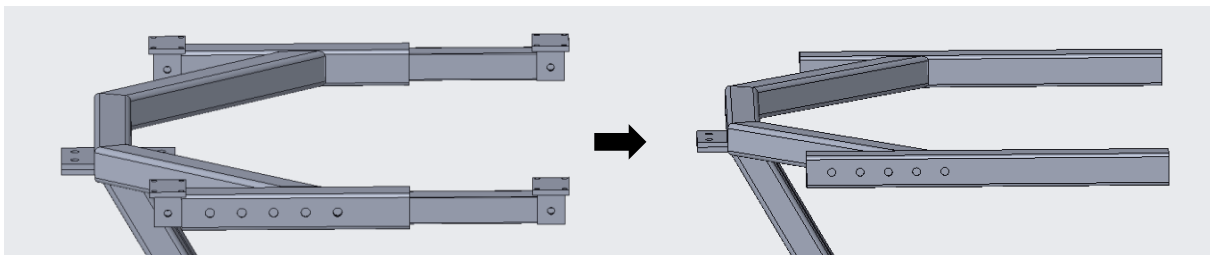
$$V_{tot} = 4,7mm$$

### 3.7 Eindige elementen analyse frame

Om de analytische sterkteberekeningen te verifiëren, wordt er gebruik gemaakt van een eindige elementen simulatie in het pakket Creo Parametric.

#### 3.7.1 Inleiding / situatieschets

Voor de eindige elementen simulatie is er gebruik gemaakt van een vereenvoudigd model van het frame. Zoals te zien in Figuur 38 zijn de geleidingsprofielen verlengd naar de lengte waar dat het tafelblad normaal eindigt. Deze vereenvoudiging is toegepast om de rekentijd van de simulatie te beperken maar toch representatieve resultaten te verkrijgen.



Figuur 38: Vereenvoudiging frame voor EEM

Voor alle profielen is er als materiaal S235 toegekend. Hiervan is de dichtheid aangepast naar 7800kg/m<sup>3</sup> zodanig dat dit overeenkomt met de waarde die gebruikt is bij de analytische berekeningen.

Vervolgens is er met AutoGEM een 3D solid mesh aangebracht op de gehele constructie. Deze maakt gebruik van QUAD en TRI elementen. AutoGEM is ook in staat om verschillende meshes die dicht bij elkaar liggen of elkaar kruisen, te verbinden met verbindingselementen. Deze optie is ook in deze simulatie hiervoor gebruikt. Het resultaat van de mesh is weergegeven in Figuur 39.

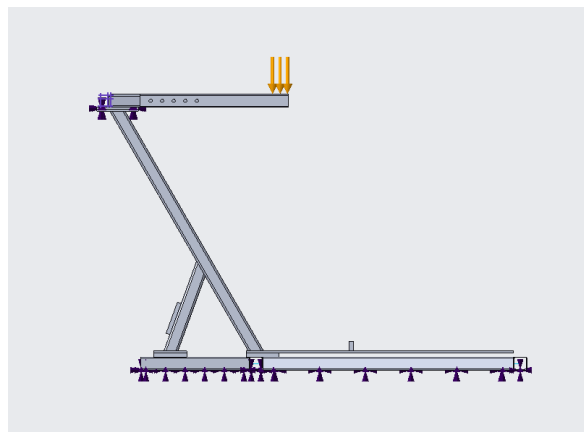


*Figuur 39: Gegeneerde mesh met AutoGEM*

Hierin zijn de grijs gekleurde delen de componenten die gemeshed zijn als solid-elementen. De paarsgekleurde vlakken representeren de oppervlakken die met elkaar verbonden zijn door middel van verbindingselementen.

### 3.7.2 Randvoorwaarden

Om het mogelijk te maken voor de solver om de stijfheidsmatrix op te kunnen lossen, dienen er randvoorwaarden opgelegd te worden. Deze randvoorwaarden kunnen worden opgedeeld in twee delen namelijk de constraints en de krachten. De constraints zijn aangeduid in Figuur 40 met blauwe pijlen.



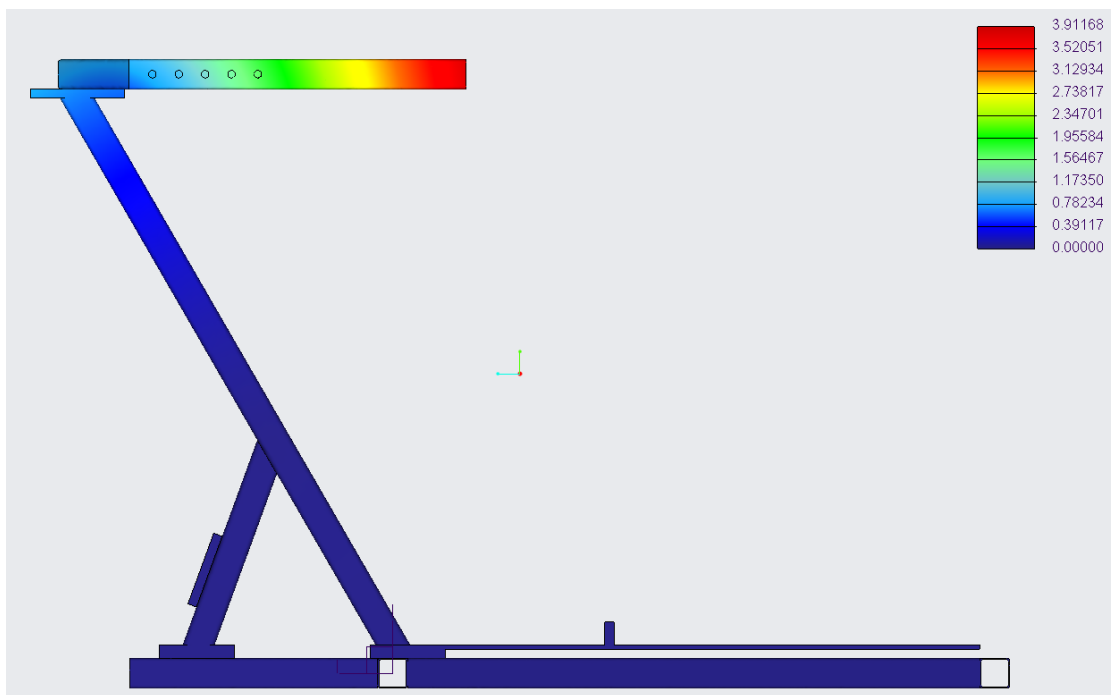
*Figuur 40: Aangelegde randvoorwaarden op het model*

Deze constraints zetten het ondervlak van het frame in de 6 mogelijke vrijheidsgraden vast, het frame wordt op deze manier ingeklemd. Aangezien het frame in de realiteit zal doorbuigen, zal deze aanname een kleine afwijking geven ten opzichte van de realiteit. Ook zijn er constraints gelegd op de lasplaatjes van het tafelblad, deze zijn automatisch door Creo toegevoegd omdat deze plaatjes bevestigd zijn met bouten die aangelegd zijn door middel van de IFX-tool.

De krachten die aangelegd zijn, zijn aangeduid door middel van de gele pijlen. Deze krachten zijn aangelegd op een deel van het bovenste oppervlak van de profielen, wat door middel van een split body operatie gedefinieerd is. De kracht die aangelegd is op beide delen van de geleidingsprofielen bedraagt 750N, welke indien opgeteld, overeenkomen met een totaal kracht van 1500N waarmee ook in de manuele berekening gerekend is.

### 3.7.3 Resultaten

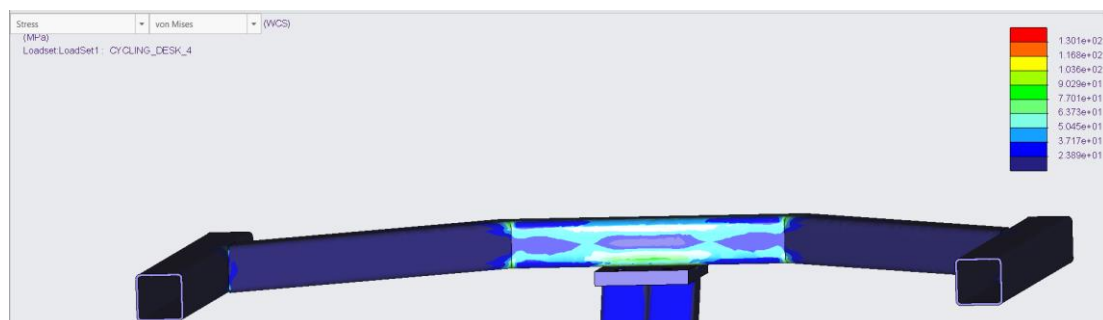
Als analyse is er een multi-pass adaptieve statische analyse gekozen. Dit betekent dat de solver automatisch de mesh gaat verfijnen door meer knopen toe te voegen. Dit gebeurt tot er convergentie bereikt wordt of tot de orde van de elementen een 9<sup>de</sup> orde polynomiaal bereiken. De convergentie wordt berekend aan de hand van de Von-Mises spanning. De bekomen doorbuiging uit de analyse is weergegeven in Figuur 41.



Figuur 41: Berekende doorbuiging FEM-analyse

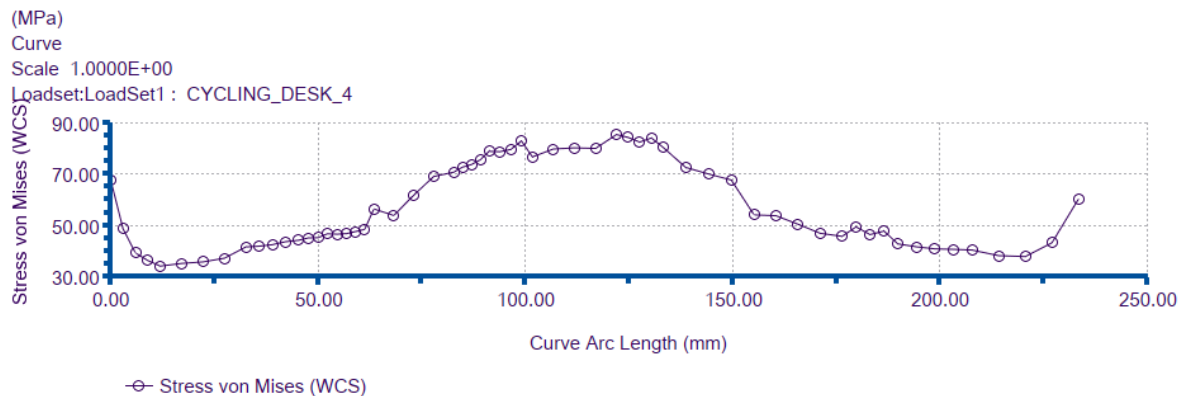
De maximale doorbuiging zal optreden aan het uiteinde van het profiel en maximaal 3.9mm bedragen. De waarde van de analytische berekening bedraagt 4.7mm, dit betekent dat er 17.1% minder doorbuiging zal optreden dan bleek uit de manuele berekeningen.

In Figuur 42 zijn de optredende Von-Mises spanningen weergegeven.



Figuur 42: Berekende spanningen FEM-analyse

De grootste spanningen treden op in het centrale profiel. Om te bepalen wat de effectief optredende spanningen zijn, is het verloop van de Von-Mises spanning over de lengte van dit profiel geplot, deze is weergegeven in Figuur 43.

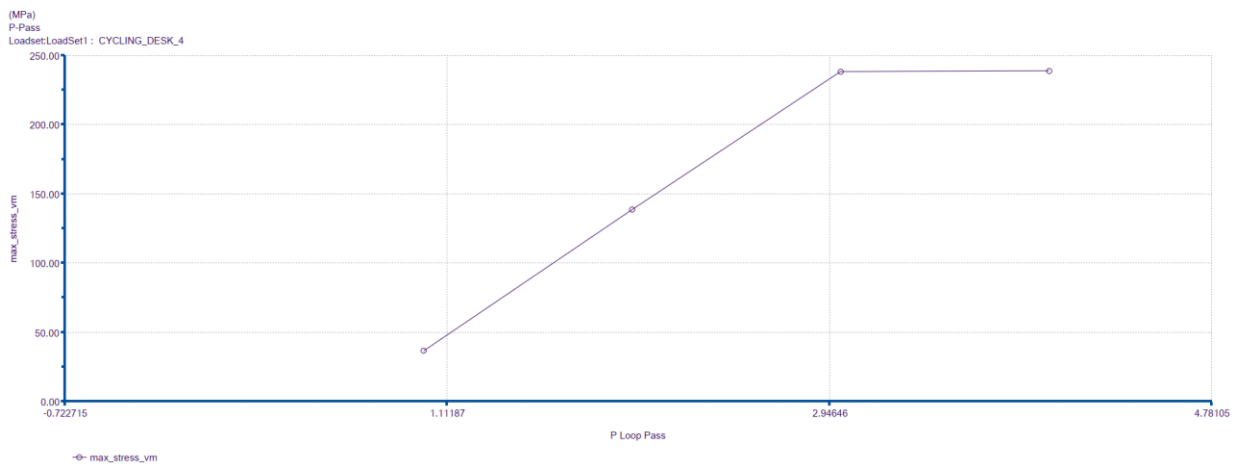


Figuur 43: Spanningsverloop middelste profiel

Uit dit verloop kan besloten worden dat de maximaal optredende spanning 88MPa bedraagt. Dit ligt ver onder de maximaal toelaatbare spanning van 109.67N/mm<sup>2</sup>. Dit betekent dat zowel volgens de analytische berekening als de FEM-analyse de profielen geschikt zijn voor toe te passen in de cycling desk.

### 3.7.4 Convergentieanalyse

Zoals reeds aangehaald zijn de bekomen resultaten het gevolg van een adaptieve multi-pass statische analyse welke de mesh blijft verfijnen tot er convergentie bereikt is. In Figuur 44 is de convergentie analyse weergegeven.



Figuur 44: Convergentie-analyse von Mises-spanningen

Het is duidelijk af te leiden dat de spanning convergeert vanaf de derde pass. Enkel convergeert deze bij een maximale waarde van 247MPa, hetgeen ver boven de maximaal toegelaten spanning ligt. De verklaring hiervoor ligt bij de spanningsconcentraties die ontstaan zijn bij het creëren van de mesh met AutoGEM. De spanningsconcentraties komen voor, daar waar de profielen gelast zijn op een lasplaatje. Op deze plaatsen worden er 2 meshes met elkaar verbonden, dit heeft als gevolg dat er elementen met een te grootte aspect ratio, skewdness of kromming kunnen voorkomen in de simulatie. Het gevolg hiervan is dat de stijfheidsmatrix die de solver bij het oplossen van de vergelijkingen gebruikt, als singulier kan beschouwd worden. Hierdoor kunnen de spanningen in deze

gebieden oplopen tot oneindig waardoor deze niet representatief zijn. Bij de multi-pass-analyse wordt de mesh automatisch verkleind tot er binnen een interval van 15% convergentie optreedt. Dit betekent dat wanneer minder als 15% van de elementen niet convergeert, dit als convergerend beschouwd kan worden. Doordat er al convergentie bereikt wordt vanaf de 4 de stap, betekent dit dat de gebieden met spanningsconcentraties minder als 15% van de gehele mesh omvatten. Wanneer het convergentiedomein verkleind wordt, blijft dat de spanning waarrond geconvergeerd wordt, toenemen. Hieruit kan besloten worden dat het wel degelijk om een singulariteit gaat en dat ervan uitgegaan kan worden dat de maximaal optredende spanning niet representatief is.



## 4 Elektrisch ontwerp

Dit hoofdstuk presenteert een systematische analyse van de ontwerpvereisten voor de elektrische schakeling, waarna op basis van deze vereisten een passende elektrische schakeling wordt ontwikkeld. De keuze van de componenten die in de elektrische schakeling worden gebruikt, is gebaseerd op een grondig literatuuronderzoek naar de beschikbare mogelijkheden van componentselectie.

### 4.1 Ontwerpvereisten

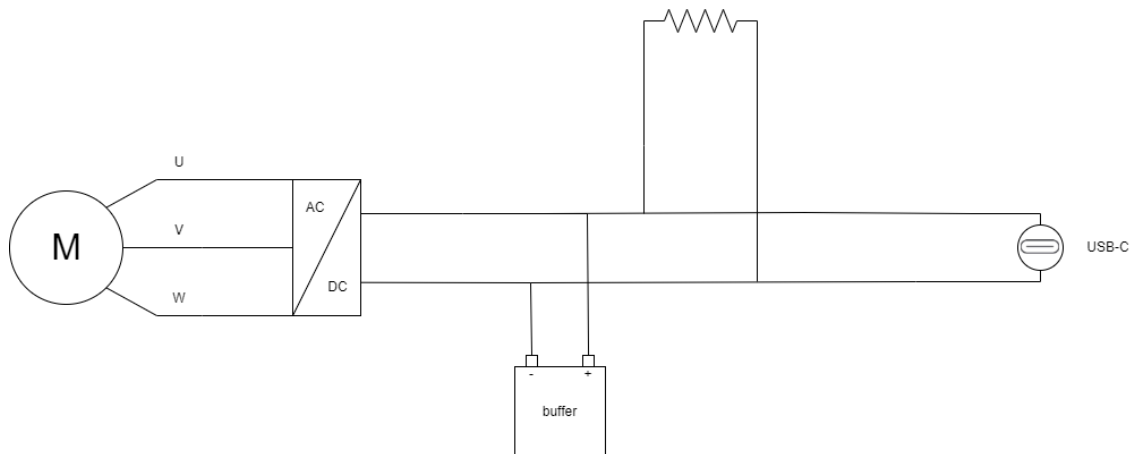
Het doel van de elektrische schakeling is om de roterende energie die door de gebruiker wordt gegenereerd, om te zetten in elektrische energie, die vervolgens wordt opgeslagen om het opladen van e-devices mogelijk te maken. Het is van essentieel belang dat deze schakeling zo efficiënt mogelijk wordt ontworpen om energieverliezen tot een minimum te beperken.

Om dit te bereiken worden verschillende elektrische componenten samengevoegd tot een elektrische schakeling. Een generator wordt gebruikt om de mechanische roterende energie om te zetten in wisselspanning. Deze wisselspanning moet vervolgens via een omvormer worden omgezet in gelijkspanning.

Daarnaast is een energiebuffersysteem nodig om de opgewekte gelijkspanning op te slaan. Hierbij worden verschillende mogelijkheden overwogen, zoals het gebruik van condensatoren of batterijen.

Om te voorkomen dat het opgewekte vermogen in de elektrische kring te hoog wordt en het volledige systeem overbelast raakt, is het ook nodig om een dissipatieweerstand te voorzien.

Figuur 45 toont een vereenvoudigd elektrisch schema waarin alle benodigde elektrische componenten zijn opgenomen.



Figuur 45: Eenvoudig elektrisch schema



## 4.2 Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek heeft als doel om de verschillende elektrische componenten met elkaar te vergelijken, om alzo de meest efficiënte componenten te selecteren voor de realisatie van de elektrische schakeling.

### 4.2.1 BLDC-motor

Het genereren van energie door mensenkracht kan op veel verschillende manieren gebeuren. In deze masterproef wordt de energie opgewekt door een roterende beweging, hierdoor vallen veel van de opties om energie op te wekken weg en worden deze ook niet verder onderzocht in de literatuurstudie.

Om elektrische energie op te wekken via een roterende beweging wordt er gewerkt met een generator. Voor de keuze van een type generator is er in deze masterproef enkel de mogelijkheid gebruik te maken van motoren van elektrische fietsen. Dit zijn meestal BLDC-motoren vandaar dat er in de literatuurstudie geen verder onderzoek is gedaan naar andere types van motoren.

Het omzetten van de rotatie energie naar elektrische energie gebeurt door middel van een BLDC-motor. De commutatie in een BLDC-motor gebeurt via stroomschakelaars in plaats van met borstels zoals in een geborstelde DC-motor, dit biedt verschillende voordelen die hieronder worden opgesomd:

- hogere efficiëntie,
- minder geluid,
- compacter en lichter,
- betere koppel-toerental karakteristiek,
- langere levensduur.

Zoals hierboven vermeld, gebeurt de commutatie in een BLDC-motor elektronisch. Er is een feedback kring nodig om de rotorpositie te detecteren en aan de hand van deze rotorpositie worden de stroomschakelaars op een juiste manier geschakeld. De rotorpositie wordt meestal bepaald met een hall-sensor of een roterende encoder. De statorwindingen bevinden zich in het magnetisch veld van de permanente magneten in de rotor. Hierdoor wordt er een uniforme flux gegenereerd in de luchtspleet tussen de stator en rotor, door de stator nu op een bepaalde manier te schakelen via de elektronische commutatie begint de rotor te roteren[22].

In deze toepassing zijn er 3 soorten motoren die in aanmerking komen om energie op te wekken, namelijk een voorwiel-, achterwiel- en midden-motor van een elektrische fiets. In de volgende paragraaf worden deze verder toegelicht.

De principiële werking van een voorwielmotor, achterwielmotor en middenmotor zijn hetzelfde. Het zijn allemaal (brushless DC) BLDC-motoren die met een motorcontroller worden aangestuurd. Het grote verschil zit zich in de vorm. De middenmotoren zijn motoren die zich bevinden aan de trapas. Hierdoor zijn deze veelal klein en zijn ze voorzien van een as waarop 1 tandwiel gemonteerd kan worden. Dit tandwiel is het aandrijvende tandwiel. Dit is vaak klein in diameter en ontworpen om op relatief lage toerentallen te functioneren. De voor- en achterwielmotoren onderscheiden zich van de middenmotor aangezien ze ontworpen zijn om ingespaakt te worden in een wiel. Een unieke

eigenschap van de achterwielmotor is dat deze voorzien is van een montagepunt waarop een fietscassette gemonteerd kan worden.

#### 4.2.2 Gelijkrichting

Een van de eisen van deze masterproef is dat de e-devices worden opgeladen met een USB-C aansluiting, hierdoor is het niet nodig om een AC-spanning aan de uitgang te voorzien voor het eventueel opladen van een laptop want dit gebeurt ook via de USB-C aansluiting.

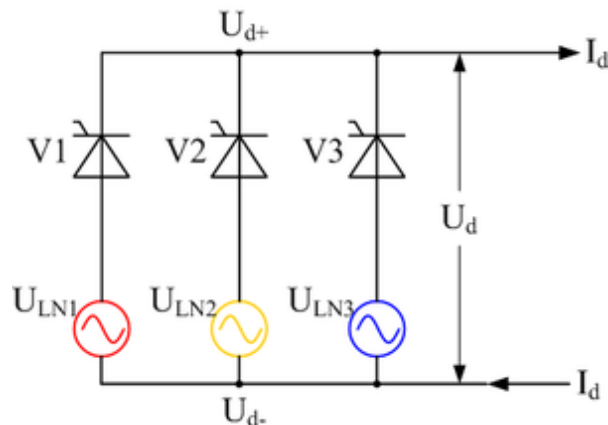
Dit heeft als gevolg dat de opgewekte spanning maar één keer moet omgezet worden naar een DC-spanning, deze omzetting kan op tal van manieren gedaan worden. In deze literatuurstudie wordt er gekeken naar de volgende 2 methodes:

- driefasige halve golf gelijkrichter,
- driefasige bruggelijkrichter.

##### **Driefasige halve golf gelijkrichter:**

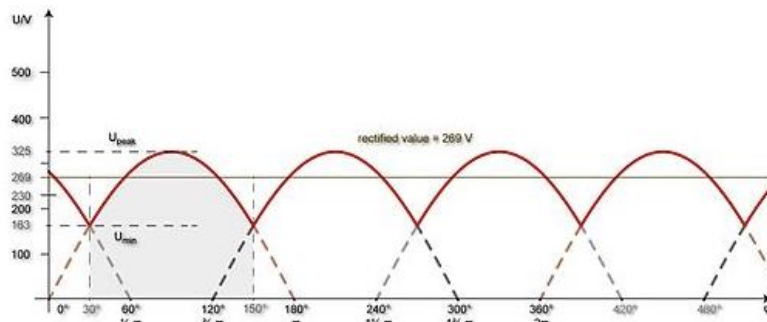
Bij een halve golf gelijkrichter wordt er slechts één halve cyclus van de aangelegde AC-spanning omgezet, de andere halve cyclus van de AC-spanning wordt niet gebruikt. De halve golf gelijkrichter is uitgerust met 3 diodes die enkel in de positieve cyclus van de AC-spanning geleiden.

In Figuur 46 is het elektrisch schema van een halve golf gelijkrichter voorgesteld. Tijdens de positieve cyclus van de ingangsspanning zal de anode van de diode positief zijn t.o.v. van de kathode, hierdoor fungeert de diode als gesloten schakelaar en staat hij in de doorlaatrichting. Tijdens de negatieve halve cyclus is de anode van de diode negatief t.o.v. de kathode en fungeert de diode als open schakelaar en staat hij in de sperrichting.



Figuur 46: Halve golf gelijkrichter[23]

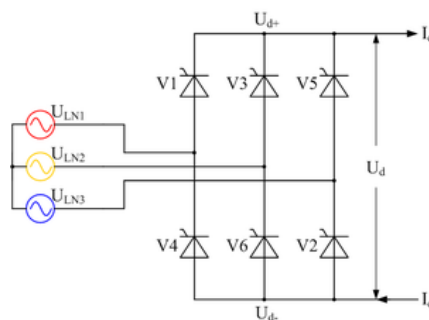
De uitgangsspanning van zo een driefasige halve golf gelijkrichter is getoond in Figuur 47. Hierin is te zien dat de uitgangsspanning zeer variabel is, dit heeft als gevolg dat er een relatief hoge harmonische vervorming op zowel AC- als DC-zijde aanwezig zijn.



Figuur 47: Uitgangsspanning halve golf gelijkrichter[23]

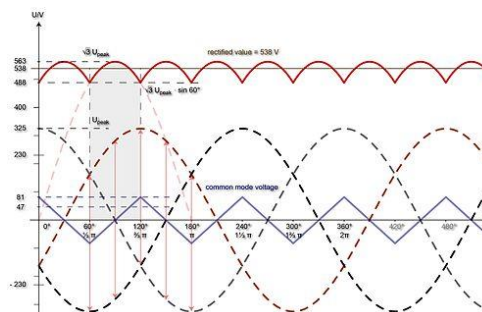
### Driefasige Bruggelijkrichter

De bruggelijkrichter maakt gebruik van beide halve cycli van de ingangsspanning. Er worden 6 diodes gebruikt in een driefasige bruggelijkrichter, de schakeling is weergegeven in Figuur 48. De werking van de driefasige bruggelijkrichter is analoog aan de halve golf gelijkrichter met als verschil dat nu zowel de positieve als negatieve cyclus van de spanning worden gelijkgericht.



Figuur 48: Bruggelijkrichter[23]

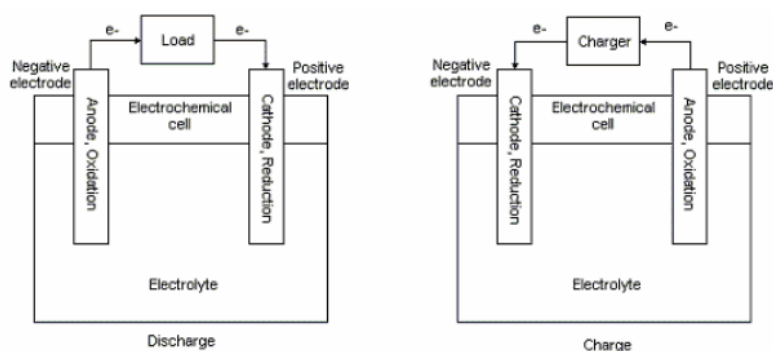
De uitgangsspanning van een driefasige bruggelijkrichter is getoond in Figuur 49. De pulserende uitgangsspanning van de halve golf gelijkrichter is nu afgezwakt waardoor er minder harmonische ontstaan.



Figuur 49: Uitgangsspanning driefasige bruggelijkrichter[23]

### 4.2.3 Batterijen

De algemene werking van een batterij bestaat uit 2 elektrodes, een kathode (-) en een anode (+) en een elektrolyt. Wanneer de batterij wordt belast, worden er via een chemische reactie (redoxreactie) aan de kathode elektronen vrijgemaakt, dit is de reductiereactie. Aan de anode worden elektronen gebonden, dit is de oxidatiereactie. Zo ontstaat er een potentiaalverschil. Door dit potentiaalverschil is er een elektronenstroom via het elektrolyt mogelijk. Figuur 50 geeft een schematische voorstelling van de elektronenstroom bij een ontlad en oplaad cyclus.



Figuur 50: Principe batterij [24]

#### Zelfontlading:

Dit is een elektrochemisch, proces waarbij er zowel aan de kathode als aan de anode reacties optreden, die ervoor zorgen dat de prestaties van de batterij afnemen zonder dat er een extern circuit gekoppeld is aan de batterij. Dit is een negatieve eigenschap van batterijen waarbij in de industrie veel rekening gehouden moet worden. De zelfontlading bij oplaadbare batterijen is veel groter dan bij niet oplaadbare batterijen. In Tabel 5 is een lijst weergegeven met daarin de zelfontladingsratio's per batterijsoort [25].

Tabel 5: Zelfontlading per batterij-type

Battery type	Self-discharge rate
Lithium-ion	● <2 (% per month)
Ni-MH	● ~ 15-50 (% per month)
Ni-MH (low-self-discharge type)	● ~6% in the first month decreasing to below 1% after a few months
Ni-Cd	● ~ 15-20 (% per month)
Lead-acid batteries	● ~2-5 (% per month) up to 15-25 (% per month) for aged batteries
Lithium-manganese dioxide (nonrechargeable)	● ~ 1-2 (% per year)

Er zijn verschillende soorten batterijen aanwezig op de markt. In dit onderzoek wordt er enkel gefocust op de batterijen die al aanwezig zijn in elektrische fietsen. Dit zijn de volgende: Nikkelmetaalhydride, Lithium-Ion, Nikkel-cadmium, lithium-ijzer-fosfaat en Loodzuur batterijen.

Een nikkelmetaalhydride-batterij is een alkalinebatterij met een waterig elektrolyt. Deze batterijen nemen relatief veel ruimte in beslag en vereisen een behuizing die bestand is tegen hogedrukken. Dit komt doordat het werkingsprincipe van de batterij is gebaseerd op het absorberen en transporteren van waterstof tussen de elektroden, wat leidt tot een hoge drukopbouw. In vergelijking met een nikkelcadmium-batterij heeft deze batterij een zeer hoge energiedichtheid (tot 40% hoger). Bovendien bevat de batterij alleen milde zuren, waardoor deze goed recyclebaar is.

Echter, de levensduur van deze batterij is beperkt. Na 200-300 oplaadcycli beginnen de prestaties ervan af te nemen. Het is belangrijk om deze batterij niet volledig op te laden omdat dit een negatieve invloed heeft op de levensduur. Daarom heeft de batterij een relatief korte levensduur van ongeveer 3 jaar. Daarnaast is de zelfontlading van de batterij vrij hoog, typisch 50% hoger dan nikkelcadmium-batterijen. Regelmatige volledige ontlading is ook nodig om de vorming van kristallen te voorkomen.

Een lithium-ion batterij is een batterij die werkt op basis van het "rocking chair" principe, waarbij lithiumionen heen en weer bewegen tussen de negatieve en positieve elektrode tijdens de laad- en ontladingscyclus. Een belangrijk voordeel van dit type batterijen is dat ze geen last hebben van het memory effect, wat betekent dat de capaciteit van de batterij niet afneemt na herhaalde oplaadcycli. Enkele andere voordelen zijn onder andere een beperkte zelfontlading (tot de helft van nikkel-gebaseerde batterijen), weinig onderhoudsvereisten, een hoge capaciteit en hoge efficiëntie.

Vanwege veiligheidsredenen is het belangrijk dat de batterij is uitgerust met een beschermingscircuit om piekspanningen tijdens het opladen te beperken en de spanningsval tijdens ontlading te beperken. Dit is noodzakelijk om de veilige werking van de batterij te waarborgen.

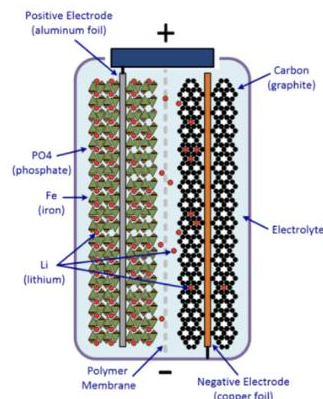
Een loodzuur batterij is een oplaadbare batterij die lood en zwavel gebruikt om te functioneren. Wanneer het lood wordt ondergedompeld in zwavelzuur, vindt er een gecontroleerde chemische reactie plaats. Tijdens deze reactie bindt het sulfaat in het zwavelzuur zich aan het lood, waardoor het een elektrische lading verkrijgt en de batterij wordt opgeladen. Om de batterij op te laden, moet de reactie worden omgekeerd.

Een bekend probleem bij loodzuur batterijen is zelfontlading. De zelfontladingssnelheid van een loodzuur batterij bedraagt ongeveer 1% per dag, hoewel de omgevingstemperatuur waarin de batterij zich bevindt een belangrijke factor is die de snelheid van zelfontlading beïnvloedt [26].

Een nadeel van loodzuur batterijen is sulfatering. Bij sulfatering wordt de actieve massa van de batterij omgezet in loodsulfaat. Loodsulfaat heeft een fijne structuur en wordt tijdens het opladen weer omgezet in looddioxide. Als de batterij na een diepe ontlading niet op tijd wordt opgeladen, zal het loodsulfaat kristalliseren. Deze kristalvorming blokkeert de poriën van de elektroden en de actieve massa, wat leidt tot blijvend capaciteitsverlies van de batterij [27]. Een nikkel-cadmium batterij is een veelgebruikte batterij in combinatie met fotovoltaïsche installaties. Deze batterijen bestaan uit een positieve elektrode van nikkel en een negatieve elektrode van cadmiumhydroxide. Nikkel-cadmium batterijen bieden verschillende voordelen, zoals een lange levensduur. Een belangrijk aspect is dat de elektroden niet direct in contact komen met de elektrolyt, waardoor het sulfateringsproces dat optreedt bij loodzuur batterijen niet plaatsvindt bij nikkel-cadmium batterijen.

Een lithium ijzer fosfaat batterij bestaat uit verschillende componenten, waaronder een anode, kathode, separator, elektrolyt en positieve en negatieve stroomcollectoren. De anode fungeert als de bron van lithiumionen, terwijl de elektrolyt zorgt voor het transport van de lithiumionen van de anode naar de kathode via de separator. Tijdens dit proces ontstaan vrije elektronen in de anode, die via een externe schakeling naar de kathode stromen.

De cel zelf bestaat uit afwisselende lagen van negatieve en positieve elektrodematerialen met separatorlagen ertussen. Dit zorgt voor een concentrische structuur. Vervolgens wordt de cel gevuld met een elektrolyt, dat de ionenconductie mogelijk maakt. In Figuur 47 wordt de opbouw van dit specifieke type batterij weergegeven.



Figuur 51: Constructie LiFePO4 batterij[28]

De LiFePO4 batterij biedt verschillende voordelen. Allereerst heeft deze batterij een hoge energiedichtheid, wat betekent dat ze een grote hoeveelheid energie kunnen opslaan in verhouding tot hun grootte en gewicht. Bovendien zijn LiFePO4 batterijen milieuvriendelijk, omdat ze geen giftige stoffen zoals lood, cadmium of kwik bevatten en ze kunnen gemakkelijk gerecycled worden[28].

Een ander belangrijk voordeel van LiFePO4 batterijen is hun aanzienlijk langere levensduur in vergelijking met andere lithium batterijen. Ze kunnen vele laad- en ontladcycli doorstaan voordat de capaciteit merkbaar begint af te nemen. Dit verlengt de levensduur van de batterij en zorgt voor een duurzamere energieopslagoplossing[28].

Een supercondensator, ook wel bekend als een elektrochemische condensator, is een elektronisch component dat in staat is energie op te slaan. De structuur van een supercondensator lijkt sterk op die van een batterij, waarbij twee afzonderlijke elektroden worden ondergedompeld in een elektrolyt. Deze alternatieve opbouw biedt verschillende voordelen, waaronder een onbeperkt aantal laad- en ontladcycli, vrijwel geen interne weerstand, snelle laadtijden van enkele seconden, en een eenvoudige oplaadmethode waarbij geen detectie nodig is om te controleren of de condensator volledig is opgeladen.

Aan de andere kant zijn er enkele nadelen ten opzichte van conventionele batterijen. Een supercondensator is niet in staat om zijn volledige lading te benutten en kan slechts een beperkte hoeveelheid energie opslaan. Bovendien heeft een supercondensator een relatief laag voltage per cel en een hoge zelfontladingssnelheid, wat betekent dat de opgeslagen energie na verloop van tijd geleidelijk verloren gaat.

#### 4.2.4 Conclusie

Op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek is geconcludeerd dat voor de generator van de cycling desk gebruik zal worden gemaakt van een achterwielmotor. Deze keuze is gemaakt vanwege het reeds aanwezige montagepunt voor een fietscassette op de achterwielmotor, hetgeen de installatie vereenvoudigt.

Voor de energieopslag in het systeem is gekozen voor een LiFePO<sub>4</sub>-batterij. Deze batterij heeft een langere levensduur in vergelijking met andere batterijtypen, waardoor het systeem gedurende langere perioden kan functioneren zonder de batterij te vervangen. Bovendien biedt de LiFePO<sub>4</sub>-batterij een hoge energiedichtheid, waardoor er minder ruimte nodig is voor de inbouw in de cycling desk in vergelijking met andere batterijen. Een bijkomend voordeel van de LiFePO<sub>4</sub>-batterij is dat deze als de meest ecologisch verantwoorde optie naar voren kwam in dit literatuuronderzoek.

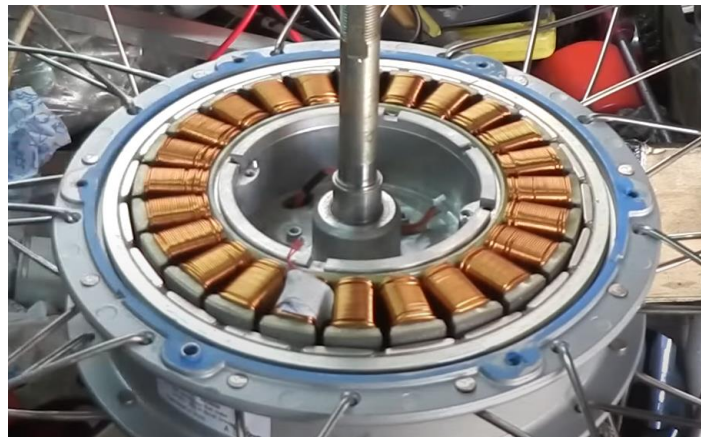
Voor de gelijkrichting van de opgewekte elektrische energie zal gebruik worden gemaakt van een driefasige brug gelijkrichter. Deze keuze is gemaakt vanwege de eigenschap van de driefasige gelijkrichter om een minder pulserende uitgangsspanning te genereren. Hierdoor wordt de belasting op de batterij verminderd en kan een stabielere voeding aan het systeem worden geleverd.

### 4.3 Realisatie van de elektrische schakeling

De bevindingen van de literatuurstudie wijzen erop dat de generator is afgeleid van de achterwielmotor van een elektrische fiets. Tijdens de voortgang van deze masterproef is er echter een samenwerking ontstaan met Accel Group, de Europese marktleider op het gebied van de distributie van E-bikes. Accel Group heeft de motor geleverd voor dit project, specifiek een 250W Sparta-ion motor die op een spanning van 36V werkt.

Om een BLDC-motor als generator te laten werken is er echter een complexe elektronische sturing nodig. Het is niet gunstig om in het ontwerp van de elektrische schakeling zo een sturing te voorzien. Daarom is er besloten de geleverde BLDC-motor om te bouwen en al de elektronica uit de motor te verwijderen.

De dwarsdoorsnede van de motor is weergegeven in Figuur 52. Hierop is te zien dat op de rotor 20 permanente magneten zitten. Een BLDC-motor heeft minstens 6 polen of 3 poolparen nodig om te functioneren. Dit betekent dat er nog 14 magneten over blijven en het dus een BLDC-motor is met 7 poolparen.



Figuur 52: Dwarsdoorsnede omgebouwde BLDC-motor

Door het wegnemen van de elektronica is de generatorwerking van de BLDC-motor op een eenvoudige manier uit te leggen. Het is echter zo dat de roterende permanente magneten zorgen voor een bewegend magnetisch veld. Dit bewegend magnetisch veld zorgt er op zijn beurt voor dat er in de statorwindingen een spanning wordt geïnduceerd. De werking van de omgebouwde BLDC-motor komt zo neer op die van een eenvoudige generator.

De opgewekte spanning van de generator kan bepaald worden aan de hand van de motorkarakteristieken die Accel Group samen met de motor heeft geleverd. Wanneer de gebruiker met een trapfrequentie van 60tr/min trapt en de ketting overbrenging een verhouding heeft van 52/11, heeft de generator een toerental van 283tr/min. In Figuur 53 is de grafiek gegeven waarin de opgewekte spanning in functie van de snelheid wordt uitgedrukt. Het toerental van de generator moet dus eerst omgerekend worden naar een snelheid in km/u. Wanneer de motor verwerkt zit in een normale fiets is deze bevestigd op een 28 inch wiel. Deze gegevens worden verwerkt in vergelijking 4.1 om de snelheid te berekenen.

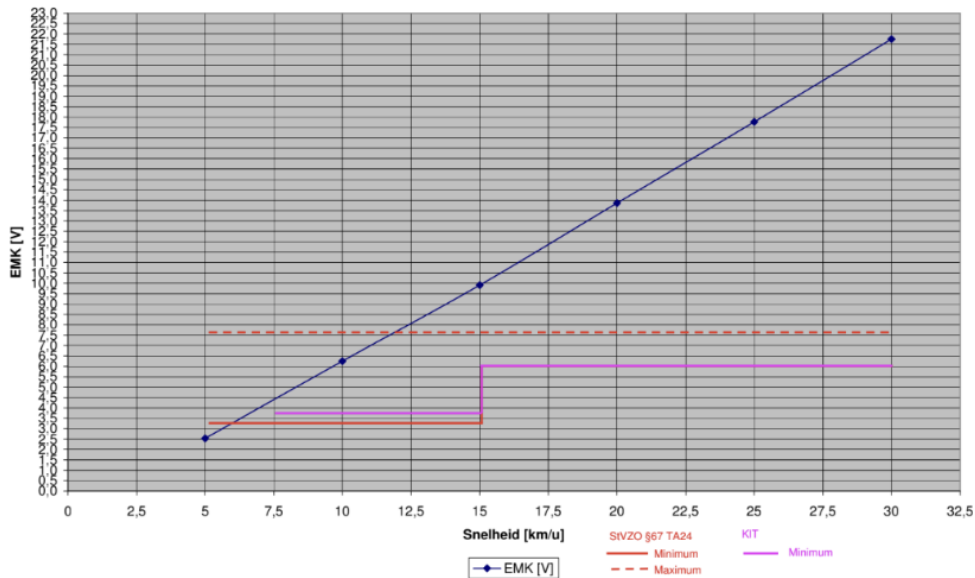
$$\begin{aligned} V &= \omega * r && (4.1) \\ V &= \frac{2 * \pi * 283.64tr/min}{60} * \frac{28inch * 25.4 * 10^{-3}mm}{2} \\ V &= 10.56m/s \text{ of } 38km/u \end{aligned}$$



Uit de grafiek kan vervolgens geconcludeerd worden dat er een lineair verband bestaat tussen de snelheid en de opgewekte spanning. Met behulp van de extrapolatiefunctie weergegeven in vergelijking 4.2 kan op een eenvoudige manier de spanning bij 38km/u bepaald worden.

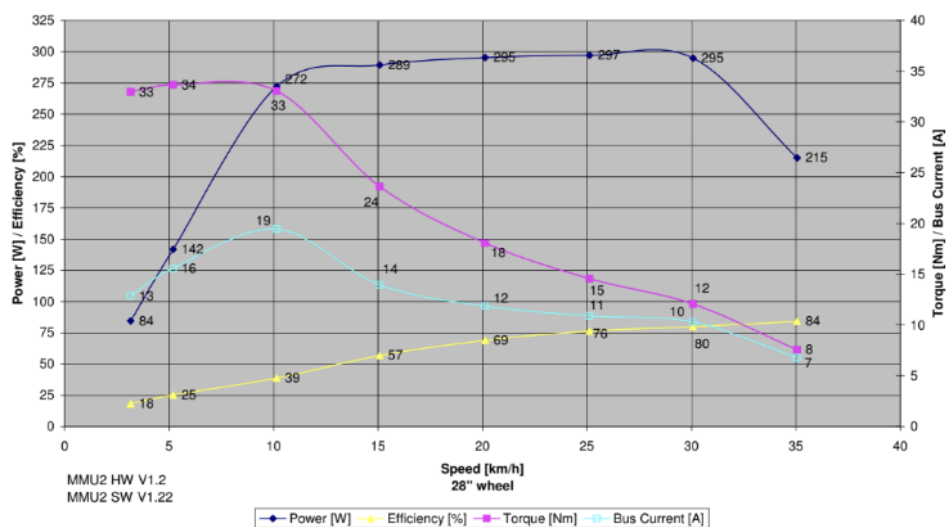
$$U = 21.75 + \frac{21.75V - 17.75V}{30km/u - 25km/u} * (38km/u - 30km/u) \tag{4.2}$$

$$U = 28.15V$$



Figuur 53: Spanning in functie van snelheid

In Figuur 54 is een motorkarakteristiek gegeven waarin verschillende parameters afgelezen kunnen worden. In deze grafiek is te zien dat het rendement bij een snelheid van 35km/u neerkomt op 84%, er wordt verder gerekend met deze waarde omdat er geen verband zit in de wijziging van het rendement in functie van de snelheid. De 100W geleverd door de gebruikers kan gezien worden als het mechanisch vermogen. Met behulp van het rendement kan het elektrisch vermogen bepaald worden via vergelijking 4.3. Een belangrijk detail is dat er in de berekening geen rekening wordt gehouden met eventuele verliezen die optreden in de kettingoverbrenging of lagers.



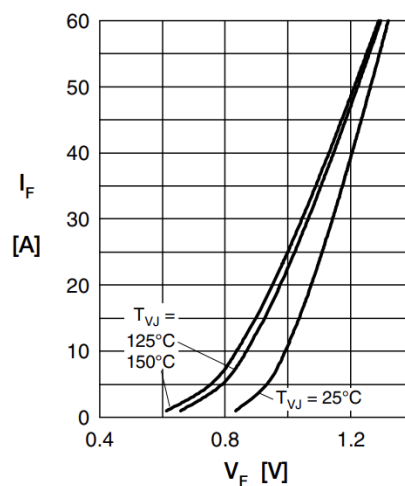
Figuur 54: Motorkarakteristiek

$$\begin{aligned}
 P_{elektrisch} &= P_{mechanisch} * \eta & (4.3) \\
 P_{elektrisch} &= 100W * 0.84 \\
 P_{elektrisch} &= 84W
 \end{aligned}$$

Vervolgens wordt de stroom bepaald via vergelijking 4.4.

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{P_{elektrisch}}{U} & (4.4) \\
 I &= \frac{84W}{28.15V} \\
 I &= 2.98A
 \end{aligned}$$

Om de gegenereerde driefasige wisselspanning om te zetten is uit de literatuurstudie gekomen dat er gebruik wordt gemaakt van een driefasige bruggelijkrichter. Hiervoor is gekozen om te werken met een bruggelijkrichter module van IXYS die een maximale stroom van 35A bij 1600V kan omzetten[29]. Hierbij moet er rekening gehouden worden met de spanningsval over elke diode in de bruggelijkrichter, deze is afhankelijk van zowel de temperatuur als de stroom. In Figuur 55 is een grafiek gegeven waarin dit verband staat weergegeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de spanningsval over elke diode 0,9V is bij een temperatuur van 25°C.



Figuur 55: Stroom i.f.v. spanningsval over elke diode[29, p. 8]

De laatste component in de elektrische schakeling is de LiFePO4 batterij. De batterijen die in dit project gebruikt worden, zijn Roypow S1218 batterijen aangezien deze aan het begin van het project reeds voorhanden waren. Er worden 2 van deze batterijen in serie geschakeld. Dit zijn 12V batterijen met een capaciteit van 18Ah [30]. Hierdoor wordt er een buffer van 24V gevormd, deze spanning is noodzakelijk om een vermogen van 30W aan de uitgang van de USB-C lader vrij te geven. Hierdoor wordt er een buffer van 24V gevormd, deze spanning is noodzakelijk om een vermogen van 30W aan de uitgang van de USB-C lader vrij te geven[31].

De maximale laadstroom die de batterij kan verwerken, is 10A. En de maximale stroom die uit de batterij onttrokken kan worden, is 20A. Om het batterijpercentage te monitoren is een SoC karakteristiek nodig, deze grafiek geeft het batterijpercentage bij een bepaald spanningsniveau van de batterij aan. In Tabel 6 is de SoC karakteristiek van deze batterij gegeven.

Tabel 6: SoC karakteristiek[32]

Percentage (SOC)	1 Cell	12V	24V
100% Charging	3.65	14.6	29.2
100% Rest	3.40	13.6	27.2
90%	3.35	13.4	26.8
80%	3.32	13.3	26.6
70%	3.30	13.2	26.4
60%	3.27	13.1	26.1
50%	3.26	13.0	26.1
40%	3.25	13.0	26.0
30%	3.22	12.9	25.8
20%	3.20	12.8	25.6
10%	3.00	12.0	24.0
0%	2.50	10.0	20.0

#### 4.3.1 Berekening dissipatie weerstand

Bij het berekenen van de dissipatieweerstand wordt er rekening gehouden met een trapvermogen van 300W wanneer de batterijen volledig zijn opgeladen. Uit Tabel 6 kan worden afgeleid dat de spanning over de batterij 29,2V zal zijn.

Met behulp van de stroom die wordt bepaald in vergelijking 4.5 kan de weerstand, nodig om dit vermogen weg te dissiperen, bepaald worden aan de hand van vergelijking 4.6.

$$I = \frac{P}{U} \quad (4.5)$$

$$I = \frac{300W}{29,2V}$$

$$I = 10,274A$$

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (4.6)$$

$$R = \frac{300W}{10,274^2A}$$

$$R = 2,84\Omega$$

#### 4.4 Conclusie

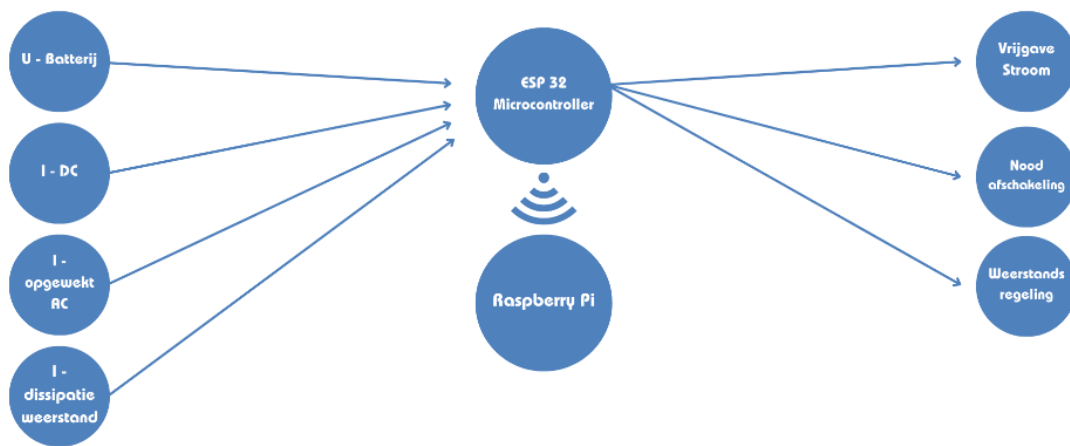
De implementatie van het elektrisch schema in de cycling desk is slechts op theoretisch niveau uitgewerkt en is niet gerealiseerd. Het is echter belangrijk op te merken dat dit aspect buiten de scope van de betreffende masterproef viel, waarbij er project partners waren die dit zouden uitwerken. Deze samenwerking is weggefallen, waardoor er uiteindelijk is besloten om zelf een theoretische uitwerking van het elektrisch circuit te ontwerpen.

## 5 Elektronisch ontwerp

In dit hoofdstuk wordt een gedetailleerde analyse gemaakt van de ontwerpvereisten voor de elektronische schakeling, gevolgd door de ontwikkeling van een geschikte schakeling op basis van deze vereisten. De selectie van de componenten in deze schakeling is gebaseerd op een grondig literatuuronderzoek. Aan het einde van dit hoofdstuk worden alle relevante berekeningen, die nodig zijn voor de bepaling van de componentwaarden gepresenteerd, zodat de schakeling optimaal kan functioneren. Bovendien wordt een energieconsumptieberekening uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in het energieverbruik van de schakeling.

### 5.1 Ontwerpvereisten

Het doel van de elektronische schakeling is om met behulp van een microcontroller verschillende parameters te meten. Aan de hand van deze parameters worden dan beslissingen genomen om de cycling desk op een veilige en efficiënte manier te laten werken. Het schema, weergegeven in Figuur 56, verduidelijkt welke parameters er gemeten worden en welke output er aan de hand van deze parameters gestuurd worden.



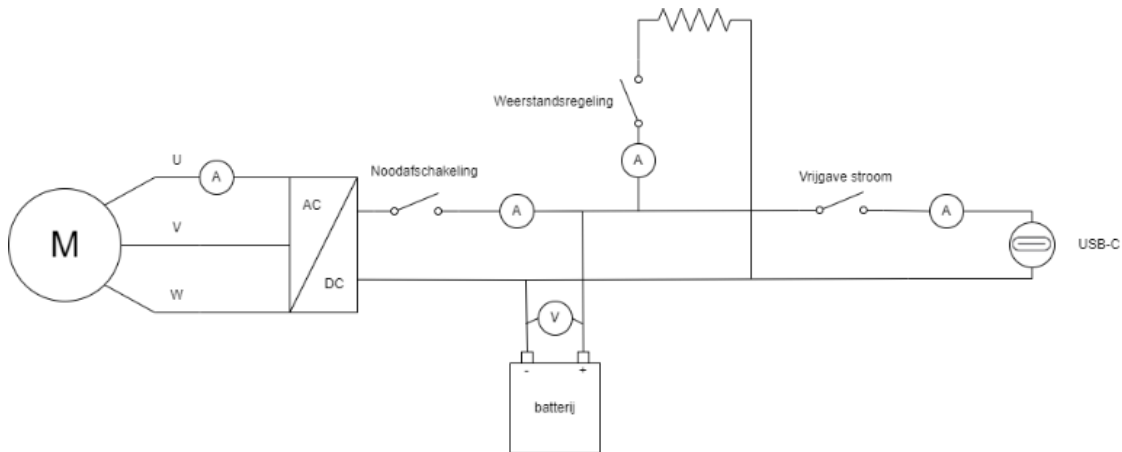
Figuur 56: Schema inputs/ outputs elektronische schakeling

In Figuur 57 is een eenvoudig elektrisch schema weergegeven waarin al de input en output verwerkt zijn, aan de hand van dit schema kan gekaderd worden wat de ontwerpvereiste van het elektronisch ontwerp zijn.

Vanaf het moment dat een gebruiker begint te trappen wordt er stroom opgewekt door de generator. Indien deze stroom hoger wordt dan een referentiewaarde zal er een schakelaar sluiten om stroom vrij te geven naar de e-devices. Dit zorgt er voor dat geen enkele gebruiker zonder te trappen zijn e-device kan opladen en zo dus de batterij zal ontladen.

Wanneer de stroom naar de batterij te hoog wordt en de e-devices die zijn aangesloten niet genoeg vermogen verbruiken zal er een schakelaar aan de hand van een PWM-sigitaal een lineaire weerstandsregeling sturen. Hierdoor wordt via deze weerstand het teveel aan opgewekt vermogen omgezet in warmte.

Als de stroom in het circuit dan nog te hoog wordt en deze op geen enkele andere manier verbruikt kan worden, is er een noodafschakeling voorzien in het systeem.



Figuur 57: Eenvoudige implementatie input/output

Een andere vereiste in deze masterproef is dat de gebruiker via een dashboard verschillende parameters kan aflezen. Op deze manier kan er via een eenvoudige weg gekeken worden naar wat de gebruiker heeft verwezenlijkt tijdens het gebruik van de cycling desk. Hoe deze visualisatie is gemaakt, wordt uitgelegd in hoofdstuk 6.

## 5.2 Literatuuronderzoek elektronische componenten

Dit literatuuronderzoek heeft tot doel een grondige verkenning te bieden van de huidige stand van zaken met betrekking tot elektronische componenten. Het zal een overzicht geven van de verschillende soorten componenten en hun fundamentele werking.

Na dit literatuuronderzoek zal er een conclusie gegeven worden met een verantwoording waarom welk component gekozen is.

### 5.2.1 Sturing

Het eerste deel van het elektronische literatuuronderzoek bestudeert verschillende microcontrollers die toegepast kunnen worden in het elektronische ontwerp van een cycling desk.

### 5.2.1.1 Esp32-devkit V1

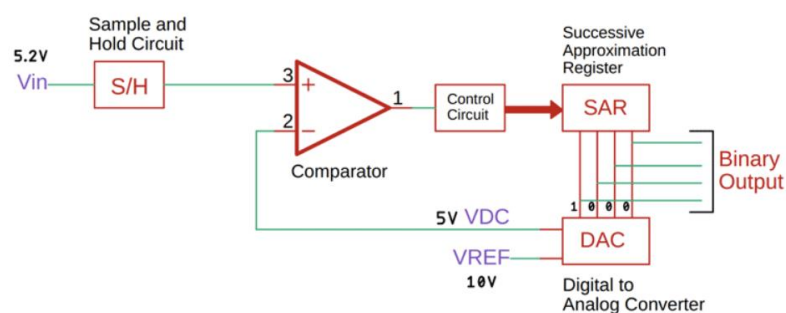
De ESP32-devkit V1 is de eerste microcontroller die onderzocht wordt in dit literatuuronderzoek, dit is de microcontroller die via een programma al de input verwerkt en de gepaste output aanstuurt. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste functies van de microcontroller verder toegelicht. In Figuur 58 is de desbetreffende ESP32 weergegeven.



Figuur 58: ESP32-Devkit V1[33]

Een van de belangrijkste functies van de ESP32 is dat deze is uitgerust met een Dual-core CPU, hierdoor is deze microcontroller in staat om twee verschillende handelingen simultaan uit te voeren. Verder is de ESP32 uitgerust met een on board wifi-en bluetooth module die verder in de realisatie van het elektronisch ontwerp gebruikt kunnen worden.

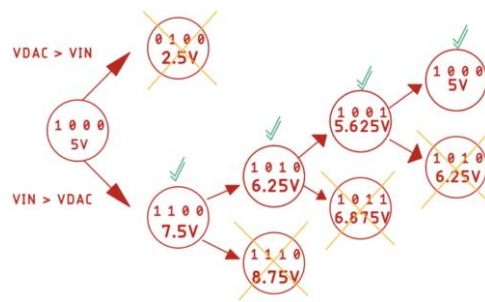
Het inlezen van de sensoren gebeurt via GPIO pinnen waarvan de ESP32 er 22 heeft, elk van deze pinnen zijn voorzien van een 12-bit SAR ADC die een spanning kunnen inlezen tussen 0 en 3.3V. Een ADC is een analoog digitaal converter die een analoge spanning omzet in een binaire waarde variërend tussen 0 en 4095. De principewerking van een SAR ADC is in Figuur 59 weergegeven.



Figuur 59: SAR ADC[34]

Vanaf het moment dat er een spanning op de ingang wordt waargenomen, zal de sample and hold blok de spanning samplen en doorgeven naar de comparator. Vervolgens zal het successive approximation register in de DAC-blok enkel de meest significante bit op 1 zetten en al de andere bits op 0. Hierdoor zal de uitgangsspanning van de DAC de helft zijn van de aangelegde referentiespanning. De volgende stap is het vergelijken van de DAC-spanning met de gemeten spanning. Wanneer de gemeten spanning groter is dan de DAC-spanning, zal het successive approximation register de meest significante bit op 1 laten staan en zet deze de volgende bit ook op 1. Wanneer de gemeten spanning lager is dan de DAC-spanning, wordt de meest significante bit op 0

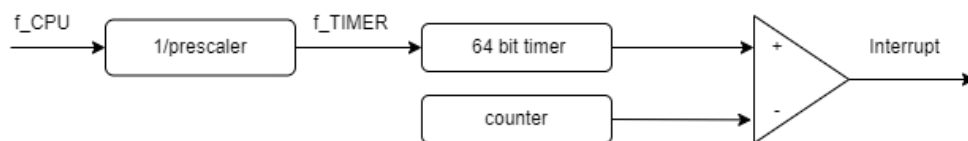
gezet en de volgende bit op 1. Deze cyclus blijft zich herhalen tot alle bits zijn doorlopen. In Figuur 60 is een voorbeeld gegeven van het algoritme.



Figuur 60: Principe ADC[34]

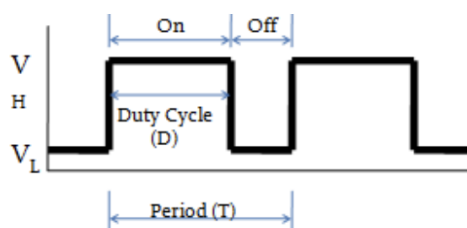
De ESP32 is ook uitgerust met 2 timergroepen die elk 2 timers bevatten. In dit ontwerp betekent dit dat het mogelijk is om deze timers te gebruiken om op constante intervallen metingen uit te voeren en door te sturen naar de visualisatie.

Elk van deze timers gebruikt de CPU klok als referentie, deze heeft een kloksnelheid van 80 MHz. Hieruit volgt dat deze timers elke 12.5ns een puls genereren. Met de 16-bit prescaler kan er dan ingesteld worden om de hoeveel pulsen de timer zijn timerwaarde met 1 puls moet incrementeren. Er kan dan een referentiewaarde worden ingesteld, vanaf het moment dat de timer deze referentiewaarde bereikt, kan er via een ISR een bepaald deel programmacode worden uitgevoerd. In Figuur 61 is schematisch weergegeven hoe dit algoritme werkt.



Figuur 61: Timer principe

Met de ESP32 is het ook mogelijk om een PWM-signaal uit te sturen. PWM is een methode om een analogoog signaal uit te sturen met een digitale bron. Dit wordt gebruikt om elektronische componenten zoals mosfets met een geregelde spanning aan te sturen. In Figuur 62 staat een voorstelling van hoe een PWM-signaal is opgebouwd.



Figuur 62: PWM signaal[35]

Er zijn 2 hoofdonderdelen die het gedrag van een PWM-signaal beïnvloeden, dit zijn de duty cycle en de frequentie. Hierbij beschrijft de duty cycle de tijd dat een signaal hoog is ten opzichte van een periode. De frequentie beschrijft hoe snel een periode wordt doorlopen. Hoe kleiner de duty cycle wordt gemaakt, hoe lager de gemiddelde spanning in een periode is en omgekeerd. In vergelijking 5.1 is uitgedrukt hoe de gemiddelde spanning wordt berekend.

$$V_{out} = D \times V_{HIGH} + (1 - D) \times V_{LOW} \tag{5.1}$$

### 5.2.1.2 Arduino uno

De tweede microcontroller, die onderzocht wordt, is de Arduino Uno. Dit is een microcontroller die is uitgerust met een ATmega328P processor. In Figuur 63 is de microcontroller weergegeven.



Figuur 63: Arduino Uno[36]

Het inlezen van de sensoren gebeurt via GPIO pinnen, op het Arduino Uno board zijn er 13 GPIO pinnen voorzien en 6 analoge pinnen. Deze analoge pinnen zijn voorzien van een 10-bit ADC-converter wat betekent dat de ingelezen spanning wordt omgezet naar een digitale waarde variërend tussen 0 en 1023 [37].

Verder is de Arduino Uno uitgerust met twee 8-bit timers en één 16-bit timer, de werking van de timers is analoog aan die van de ESP32 [37].

De Arduino Uno is uitgerust met 6 GPIO pinnen die PWM ondersteunen, dit is beduidend minder als de ESP32.

### 5.2.1.3 Conclusie

Voor de goede werking van het elektronisch ontwerp is er gekozen om verder te gaan met de ESP32 dev kit v1, dit is een microcontroller die krachtiger is dan de Arduino Uno en deze heeft ook meer features die goed van toepassing komen in dit ontwerp. In Tabel 7 zijn de verschillende belangrijke functies van elke microcontroller weergegeven.

Tabel 7: Vergelijking microcontrollers

	ESP32	Arduino uno
Aantal cores	2	1
ADC	12-bit	10-bit
Wifi	Ja	Nee
GPIO	22	13

## 5.2.2 DC-DC converter

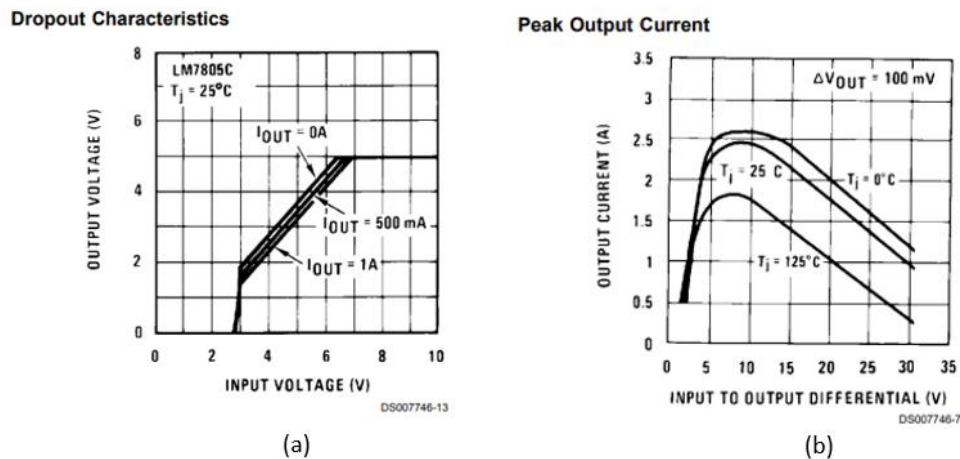
Aangezien er gewerkt wordt met een 24V batterij, gaat het volledige elektronische systeem van spanning voorzien worden via deze 24V batterij. De microcontroller en de sensoren werken op 5V, om de spanning te converteren wordt er gebruik gemaakt van een DC-DC converter.

### 5.2.2.1 Spanningsregelaar

Een voltage regulator is een elektronisch component dat een constante uitgangsspanning geeft bij een variabele ingangsspanning. Hierbij dient de ingangsspanning wel hoger te zijn dan een bepaalde referentiespanning. In dit literatuuronderzoek wordt de LM7805 verder onderzocht. Deze heeft een minimale ingangsspanning van 7.5V nodig om een uitgangsspanning van 5V te geven[38]. In Figuur 64a is de uitgangskarakteristiek bij variabele ingangsspanning weergegeven. Een nadeel van deze



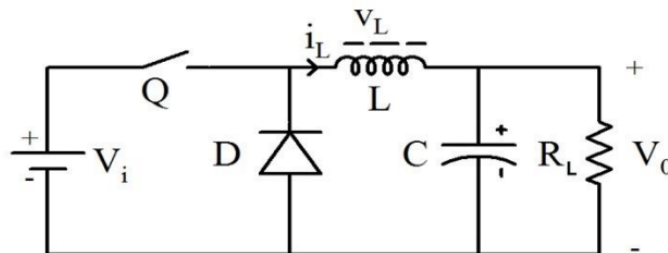
voltage regulator is echter dat de maximale stroom aan de uitgang afneemt naarmate hij opwarmt, dit is weergegeven in Figuur 64b.



Figuur 64: Uitgangskarakteristieken LM7805[38, p. 9]

### 5.2.2.2 Buck converter

Een buck converter is een step-down DC-DC converter die gebruik maakt van een halfgeleider om de spanning aan de uitgang te verlagen. Een prinsipeschema van zo een buck converter is gegeven in Figuur 65.



Figuur 65: Buck converter[39]

De werking van de buck converter kan uitgelegd worden in 2 stappen, in de eerste stap is de schakelaar Q gesloten. Hierdoor vloeit er een stroom door de spoel L en bouwt deze een magnetisch veld op. Tegelijkertijd is de diode D in omgekeerde richting gepolariseerd waardoor het niet mogelijk is voor de stroom om naar onder te vloeien. De spanning aan de uitgang wordt op dat moment geleverd door de spoel in combinatie met de afvlakcondensator.

Wanneer de schakelaar dan wordt geopend, valt de stroom abrupt weg en zal de spoel een tegen EMK opwekken. Hierdoor gaat de spoel fungeren als bron en zal de diode in geleiding komen. De spanning over de uitgang komt dan ook van de spoel en afvlakcondensator.

Door het continu omschakelen van schakelaar Q zal deingangsspanning omgezet worden naar een geregeld maar lagere spanning aan de uitgang. Een nadeel van de buck converter is dat deze omzetting gepaard gaat met schakelverliezen en een rimpel aan de uitgang.

### 5.2.2.3 Conclusie

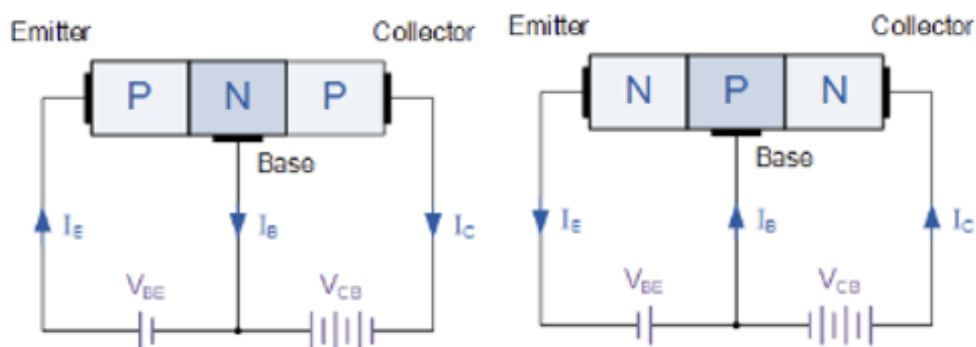
In dit project is het niet nuttig om gebruik te maken van een buck-converter omdat deze een hoge rimpel aan de uitgang vertoont, het is ver van ideaal om sensoren en microcontrollers met een gerimpelde DC-spanning te voeden. Dit omdat sensoren vaak een constante voedingsspanning nodig hebben die ze gebruiken als referentiespanning voor een meting.

### 5.2.3 Elektronische schakelaars

Zowel de noodafschakeling, vrijgave van de stroom en de weerstandsregeling worden geschakeld met een elektronische schakelaar die kan aangestuurd worden met de microcontroller. In dit deel van het literatuuronderzoek worden de verschillende mogelijke elektronische schakelaars grondig onderzocht.

#### 5.2.3.1 Transistor

Een transistor is een statische component die gebruikt kan worden als schakelaar of signaalversterker in verschillende elektronische toepassingen. Hij bestaat uit drie gedoteerde zones die afwisselend van elkaar een andere polariteit hebben. In Figuur 66 zijn de twee soorten transistors gegeven die in deze literatuurstudie onderzocht zijn.

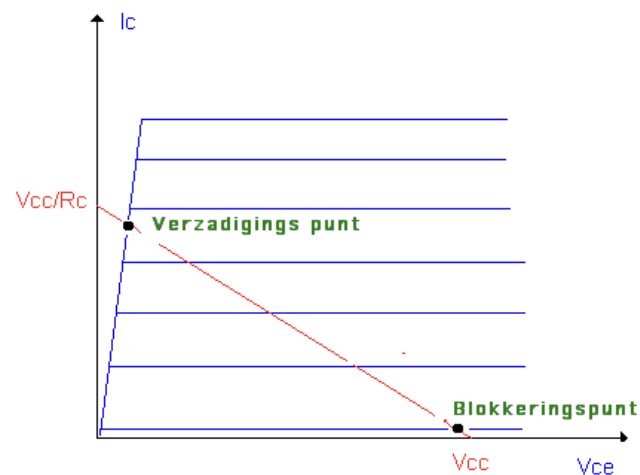


Figuur 66: Configuratie van transistoren[40]

Een npn transistor bestaat uit één p-type halfgeleidermateriaal als de basislaag en twee n-type halfgeleiderlagen aan weerszijden, dit zijn de emitter en de collector. Hierdoor worden er twee pn-overgangen gecreëerd, de basis-emitter junctie en de basis-collector junctie. De basisstroom controleert de hoeveelheid geïnjecteerde elektronen van de emitter naar de basis, door deze te veranderen kan de collectorstroom worden geregeld. De verhouding tussen deze basisstroom en collectorstroom wordt bepaald door de stroomversterkingsfactor van de transistor.

Wanneer de transistor als schakelaar wordt gebruikt, zijn er 2 mogelijke gevallen. Het eerste geval komt voor wanneer de basisstroom gelijk is aan 0, er zal dan geen stroom van emitter naar collector vloeien en fungeert de transistor als open schakelaar. Wanneer de basisstroom voldoende hoog is zal de transistor in verzadiging gestuurd worden waardoor er wel een stroom van emitter naar collector kan vloeien en de transistor dus fungeert als gesloten schakelaar.

Een algemene grafiek waarop zowel de open schakelaar toestand als gesloten schakelaar toestand kan worden afgelezen, is weergegeven in Figuur 67.



Figuur 67: Transistorkarakteristiek[41]

Een pnp transistor bestaat uit één n-type halfgeleider als basislaag en twee p-type halfgeleiderlagen aan weerszijden, dit zijn de emitter en collector. Hierdoor worden er twee pn-overgangen gecreëerd, de basis-emitter junctie en de basis-collector junctie. De basisstroom controleert de hoeveelheid geïnjekteerde gaten van de emitter naar de basis, door deze dus te veranderen kan de collectorstroom worden geregeld. De verhouding tussen deze basisstroom en collectorstroom wordt ook hier bepaald door de stroomversterkingsfactor van de transistor.

Het belangrijke verschil tussen deze twee transistoren is dat bij een pnp-transistor een negatieve spanning wordt aangebracht op de basis-emitter junctie om de transistor te activeren, hierbij vloeit de stroom van basis naar emitter en vervolgens van emitter naar collector.

Bij een npn-transistor wordt er een positieve spanning aangebracht op de basis-emitter junctie om de transistor te activeren, hierbij vloeit de stroom van emitter naar basis en vervolgens van emitter naar collector.

Over het algemeen worden transistoren gebruikt in schakelingen met lage vermogens en is de schakel snelheid van transistoren zeer beperkt.

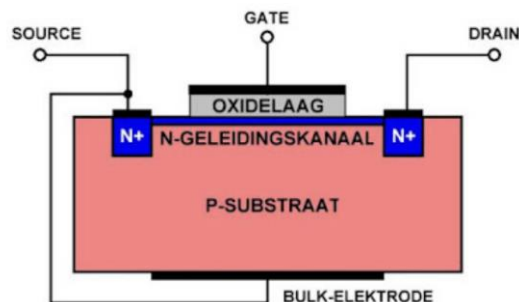
### 5.2.3.2 Mosfet

Een mosfet is een halfgeleider die met een stuursignaal al dan niet in geleiding kan komen. Een mosfet is opgebouwd uit 3 lagen in de volgorde M-O-S (Metaal, Oxide, Semiconductor). De gate aansluiting hangt op de metaallaag, deze is volledig elektrisch gescheiden van de rest van de mosfet door de oxidelaag. De gate en source aansluitingen zijn verbonden met gedoteerde gebieden in de halfgeleider. Wanneer er een spanning wordt aangebracht op de gate, zal de concentratie van de ladingsdragers in de halfgeleider wijzigen. Hierdoor zal de weerstand tussen de drain en de source wijzigen en zal de mosfet al dan niet in geleiding komen[42].

Er bestaan 4 types van mosfets: een N-type verarmingsmosfet, een P-type verarmingsmosfet, een N-type verrijkingmosfet en een P-type verrijkingmosfet. In volgende paragrafen worden deze 4 types uitgelegd.

#### N-kanaal verarmingstype/ P-kanaal verarmingstype

Bij een N-kanaal verarmingstype mosfet zijn er 2 eilandjes voorzien met sterk gedoteerd N-materiaal waar rond P-materiaal zit. De drain en source zijn verbonden met deze eilandjes. Tussen deze twee eilandjes zit een geleidend materiaal uit N-materiaal. Wanneer er geen spanning wordt aangelegd op de gate, zal er een geleidingskanaal ontstaan tussen drain en source en fungeert de mosfet dus als gesloten schakelaar. Wanneer er een negatieve spanning wordt aangelegd op de gate, zal er een elektrisch veld ontstaan tussen de gate en het P-materiaal. Hierdoor zal de baan tussen drain en source minder gaan geleiden en zal de mosfet fungeren als open schakelaar. In Figuur 68 is een schematische voorstelling gegeven van dit type mosfet.

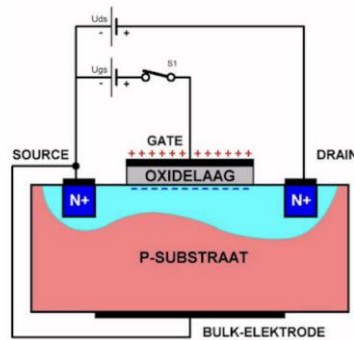


Figuur 68: N-kanaal verarmingstype mosfet[42]

De werking van een P-kanaal verarmingstype mosfet is analoog aan bovenstaande uitleg. In de schematische voorstelling moeten alle P-gebieden en N-gebieden worden omgewisseld en de aangelegde spanning moet geïnverteerd worden.

## N-kanaal verrijkingstype/ P-kanaal verrijkingstype

De opbouw van dit type mosfet is gelijkaardig aan die van het verarmingstype, het verschil is hier echter dat het geleidingskanaal niet aanwezig is. Wanneer er geen spanning wordt aangelegd op de gate, zal er geen stroom kunnen lopen tussen drain en source. Bij dit type mosfet wordt het geleidingskanaal tussen drain en source gecreëerd door op de gate een positieve spanning aan te leggen ten opzichte van de source. Hierdoor gaat het P-materiaal zich lokaal gedragen als N-materiaal en zo een geleidingskanaal vormen. In Figuur 69 is een schematische voorstelling gegeven van dit type mosfet.

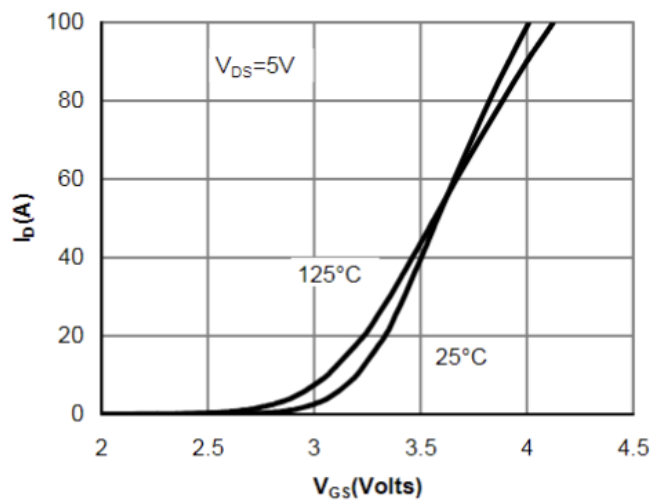


Figuur 69: N-kanaal verrijkingstype mosfet [42]

De werking van een P-kanaal verrijkingstype is ook hier analoog aan bovenstaande uitleg. In dit ontwerp is het dus nodig om een N-kanaal verrijkingstype mosfet te gebruiken. Dit omdat de mosfets in geen enkel geval in geleiding mogen komen wanneer er geen spanning aan de gate wordt aangelegd.

### 5.2.3.3 Conclusie

Er is gekozen om in de elektronische schakeling te werken met een AOD4184. Dit is een mosfet die grotere vermogens kan schakelen met een kleine gate source spanning. In Figuur 70 is de uitgangskarakteristiek van deze mosfet getoond bij verschillende gate-source spanningen. Hierin is te zien dat bij een gate-source spanning van 3.3V er door de mosfet tot 16A kan vloeien.



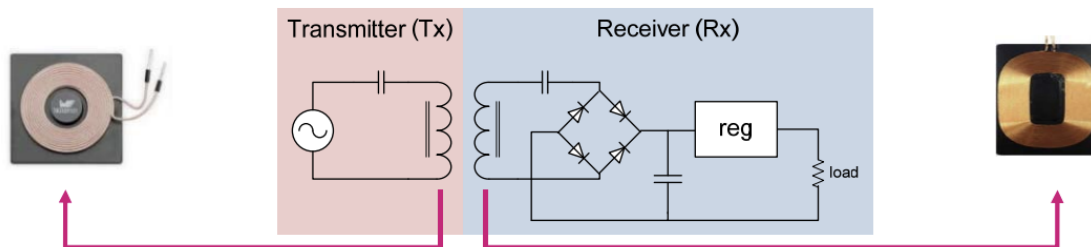
Figuur 70: Uitgangskarakteristiek AOD4184[43, p. 3]

#### 5.2.3.4 Output

Het is de bedoeling dat de opgewekte energie door middel van het trappen ervoor zorgt dat de e-devices worden opgeladen. Momenteel is het zo dat deze e-devices nog verschillende types van oplaadmogelijkheden hebben. Maar om het gemakkelijker te maken voor consumenten en om afval te verminderen heeft de Europese Unie beslist om USB-C de gemeenschappelijke oplader te maken voor zowel smartphones als mobiele toestellen[44]. In de cycling desk wordt door deze reden gekozen om een USB-C oplaadpoort te voorzien.

In een draadloos oplaadsysteem wordt magnetische inductie gebruikt om vermogen over te brengen van de spoel in het bureau naar het E-device. De principewerking van zo een systeem is voorgesteld in Figuur 71.

Wanneer het e-device op de spoel in het bureau wordt gelegd, wordt er in de spoel van het e-device een inductiespanning gegenereerd die er op zijn beurt voor zorgt dat het apparaat opgeladen kan worden [45].



Figuur 71: Draadloos oplaadsysteem[45]

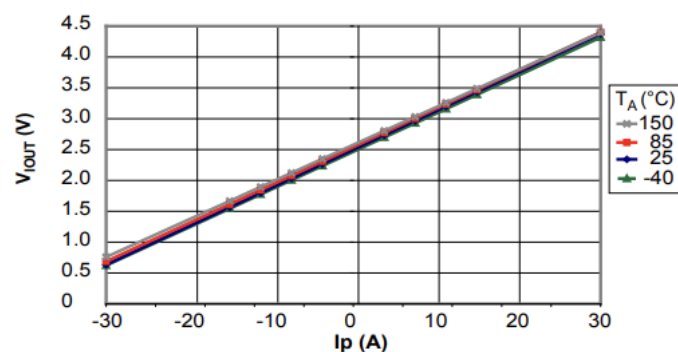
#### 5.2.4 Stroomsensor

Het meten van een stroom in een elektrisch circuit kan op 2 manieren gebeuren, een directe manier en een indirecte manier.

Bij de directe manier wordt de spanningsval over een stroom voerende geleider gemeten en aan de hand van deze spanningsval wordt de stroom door de geleider berekend. Dit is echter niet eenvoudig om te doen in dit ontwerp omdat er geen kennis is van de eigenschappen van de geleiders [46].

Bij de indirecte manier wordt de stroom in een geleider gemeten aan de hand van een hall-effect sensor. Wanneer er stroom door een geleider vloeit, ontstaat er een magnetisch veld rond deze geleider. De hall-effect sensor neemt de aanwezigheid en de grootte van dit magnetisch veld waar. Aan de hand van de wet van Faraday kan er dan een stroom berekend worden [46].

In dit ontwerp wordt er gebruik gemaakt van een ACS712-30A stroomsensor, de werking van deze sensor is volgens het indirect meetprincipe. De sensor geeft een spanning aan de uitgang die lineair veranderd in functie van de gemeten stroom. In Figuur 72 grafiek is de uitgangsspanning te zien in functie van de gemeten stroom wanneer er een voedingsspanning van 5v wordt aangelegd.



Figuur 72: ACS712-30A uitgangsspanning ifv gemeten stroom[47, p. 4]

De spanning aan de uitgang verandert met 66mV/A en is niet temperatuur afhankelijk. De microcontroller heeft een 12 bit ADC, aan de hand van bovenstaande gegevens wordt er via een interpolatiefunctie de gemeten stroom berekend volgens vergelijking 5.2.

$$I = I_{min} + \frac{\text{gemeten ADC} - \text{minimale ADC}}{\text{maximale ADC} - \text{minimale ADC}} \times (I_{max} - I_{min}) \quad (5.2)$$

#### 5.2.5 Spanningssensor

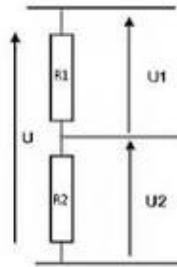
Om de batterijspanning van 24V op een correcte manier te monitoren met een ESP32, is de eenvoudigste oplossing om te werken met een spanningsdeler[48]. Een spanningsdeler is een schakeling van weerstanden die een ingangsspanning opdeelt en dus verlaagt zodat deze binnen het meetbereik van de ESP32 valt.

Aangezien het meetbereik van de ESP32 tussen de 0V en 3.3V ligt is het nodig om de spanning over een van de weerstanden te verlagen tot maximum 3V, deze spanning bepaalt de verhouding van de spanningsdeler en komt dus neer op 8:1.

De weerstanden die gebruikt zijn om deze schakeling te realiseren, moeten dus een verhouding hebben van 8:1, alsook mogen ze niet te belastend zijn voor de volledige elektronische schakeling aangezien het totale stroomverbruik minimaal moet zijn. Hierdoor is er gekozen voor weerstanden van 7.5kΩ en 1kΩ te gebruiken.

In Figuur 73 is een schematische voorstelling weergegeven van een spanningsdeler. De uitgangsspanning  $U_2$  kan berekend worden aan de hand van vergelijking 5.3.

$$U_2 = U * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.3)$$



Figuur 73: Spanningsdeler

Wanneer er van uit wordt gegaan dat de weerstanden steeds onder een spanning van 24V staan, kan het vermogen van deze schakeling als volgt berekend worden:

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.4)$$

$$I = \frac{24}{8500}$$

$$I = 2,8mA$$

$$P = U * I \quad (5.5)$$

$$P = 24 * 2,8 * 10^{-3}$$

$$P = 67,76mW$$



### 5.2.6 Trapfrequentie sensor

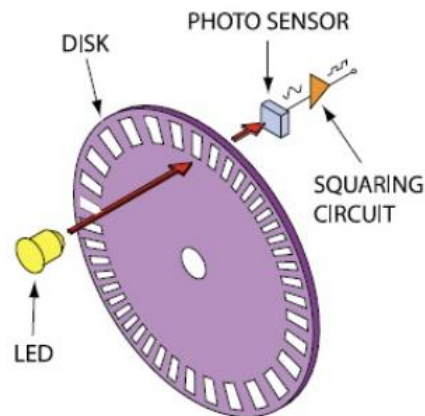
Om de trapfrequentie van de gebruiker te bepalen kan er op verschillende manieren gewerkt worden, in de volgende paragrafen worden de verschillende mogelijkheden toegelicht.

#### Hall-sensor

Er kan gewerkt worden met een hall-sensor, dit is een sensor die magnetische velden detecteert. Wanneer er een kleine magneet op het roterend deel van de motor geplaatst wordt en de hallsensor in de buurt van deze magneet is gemonteerd, kan er softwarematig een teller geprogrammeerd worden die telt hoe vaak de magneet voorbij de hallsensor komt. Op basis van deze meting kan dan de frequentie bepaald worden.

#### Optische encoder

Een optische encoder bestaat uit een lichtbron en een fotodetector. Wanneer de fotodetector en lichtbron aan weerszijde van het roterend deel van de motor worden geplaatst, kan de frequentie bepaald worden door het aantal lichtonderbrekingen te tellen. In Figuur 74 is een schematische voorstelling gegeven van een optische encoder



Figuur 74: Optische encoder[49]

#### Stroomsensor

Met behulp van een stroomsensor kan de frequentie ook bepaald worden, er moet gekeken worden naar het aantal nul doorgangen van de stroom binnen een bepaalde tijd. Aan de hand hiervan kan de frequentie berekend worden. Met deze frequentie en het aantal poolparen van de motor kan dan het toerental berekend worden.

#### Conclusie

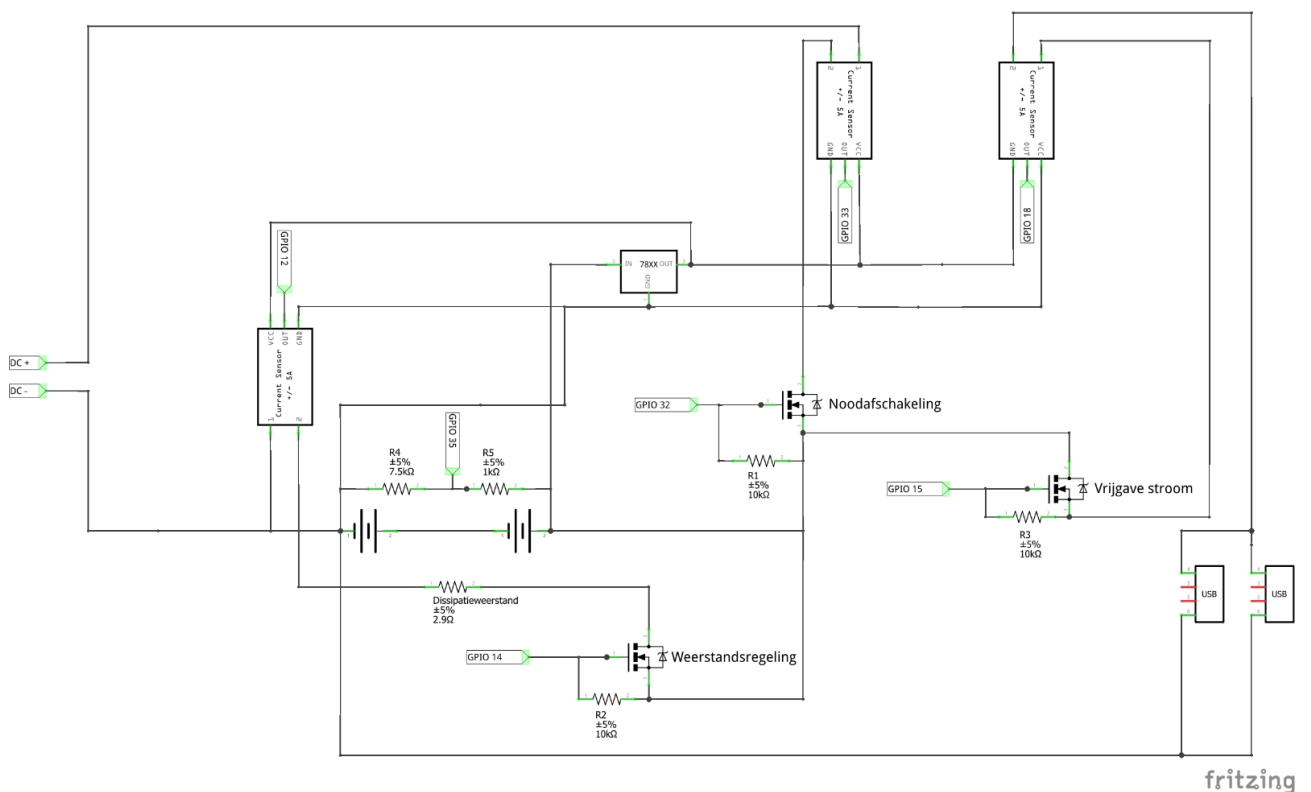
Om de montage van de sensor zo eenvoudig mogelijk te houden is er besloten om met de stroomsensor te werken, deze moet niet op een nauwkeurige plaats bij de motor gemonteerd worden.

### 5.3 Finaal ontwerp elektronische schakeling

In Figuur 75 is het finaal ontwerp van de elektronische schakeling gegeven. Hierin is te zien hoe zowel de stroom als spanningssensoren geïmplementeerd zijn in de schakeling. De uiterst linkse stroomsensor meet de stroom door de dissipatieweerstand, de middelste stroomsensor meet de stroom die vloeit in het volledige systeem en de uiterst rechtse stroomsensor meet de stroom die door het E-device gevraagd wordt. Verder functioneert spanningsdeler boven de batterij als spanningsensor om het batterijpercentage te bepalen.

Al de elektronische schakelaars in het systeem worden gerealiseerd met mosfets, uit de literatuurstudie is gekomen dat dit de beste oplossing is. De noodafschakeling zal enkel geopend worden wanneer de stroom naar de batterij zo hoog wordt dat deze die niet meer kan verwerken. Verder zal er enkel een vrijgave van de stroom gebeuren op het moment dat er ook effectief getrapt wordt op de cycling desk. Dit zorgt ervoor dat de batterijen van de cycling desk niet ontladen kunnen worden zonder dat er stroom geleverd wordt. Tot slot zorgt de weerstandsregeling ervoor dat wanneer de stroom te hoog dreigt te worden, er een deel van deze opgewekte stroom omgezet wordt in warmte door de weerstand.

Voor een duidelijk overzicht te behouden zijn de GPIO pinnen van de microcontroller enkel met tags aangeduid en staat de microcontroller zelf niet op het schema.



Figuur 75: Finaal elektronisch schema

## 5.4 Berekening energieverbruik

Een vooropgestelde eis van de cycling desk is dat deze tussen de 4 en 6 weken stand alone kan werken. Om dit te controleren, is het verbruik van de cycling desk berekend. En op basis hiervan een gepaste batterij met voldoende capaciteit gekozen. Aangezien het niet mogelijk was het elektrische ontwerp te testen, zijn er meerdere mogelijke scenario's theoretisch benaderd.

De verschillende elektronische componenten kunnen ingedeeld worden in twee groepen. De eerste groep zijn de actieve gebruikers, deze zullen dus enkel verbruiken indien de cycling desk bediend wordt. De tweede groep zijn de passieve gebruikers, deze verbruiken permanent een vermogen.

Het verbruik van elke mosfet is bepaald aan de hand van de stromen die erdoor vloeien en de interne weerstand van de mosfet zelf. Door de mosfet van de noodafschakeling vloeit een gemiddelde stroom van 2.98A zoals berekend in vergelijking 4.4. Wanneer met behulp van deze stroom en de interne weerstand van  $0,23\Omega$  het vermogen bepaald wordt, komt dit neer op 2W[43].

Door de mosfet van de dissipatieweerstand vloeit een gemiddelde stroom van 10,27A zoals berekend in vergelijking 4.2, wanneer deze gekwadeerd en vermenigvuldigd wordt met de dissipatieweerstand, berekend in vergelijking 4.3, is het vermogen 24W.

De stroom die door de mosfet loopt, welke instaat voor het vrijgeven van de stroom, is berekend uit het maximale vermogen dat de USB-C lader kan leveren. Het maximale vermogen bedraagt 30W door dit te delen door de aangelegde spanning van 24V bekomt men een stroom van 1.25A. Door deze stroom te kwadrateren en vermenigvuldigen met de interne weerstand welke  $0,23\Omega$  bedraagt, bekomt men een vermogen van 0.35W.

Het verbruik van de LM7805 DC-DC converter wordt bepaald door de verbruikers die hieraan verbonden zijn, namelijk:

- ESP32 met gemiddeld stroomverbruik van 240mA;
- ACS712-30A (3x) met gemiddeld stroomverbruik van 9.5mA;
- Zmpt101B met gemiddeld stroomverbruik van 2mA.

De totale stroom die uit de LM7805 vloeit, bedraagt dus 270,5mA, de interne weerstand van de LM7805 is  $0,017\Omega$ [38]. Dit wordt vervolgens omgerekend naar het vermogen en bedraagt 1,24mW.

Het verbruik van de ESP32 dev kit v2 in actieve modus is bepaald door de stroom van  $10\mu A$  die door de ESP vloeit, te vermenigvuldigen met de aangelegde voedingsspanning van 5V[50]. Het hieruit berekende vermogen bedraagt 1.2W. Het verbruik van elke van de verschillende elektronische componenten is in Tabel 8 weergegeven.

Tabel 8: Verbruiken actieve elektronische componenten

Elektronische component	Verbruik [W]
DC-DC converter L7805	$1.24 \cdot 10^{-3}$
Noodafschakeling	2
Vrijgave stroom	0.35
Weerstandsregeling	24
ESP32 dev kit v2	1.2
Totaal	27.55

Naast de actieve verbruikers, zijn ook de vermogens berekend van de passieve verbruikers. Analoog aan de berekening voor het vermogen van de ESP32 in actieve modus kan ook het passieve vermogen bepaald worden. Nu trekt de ESP een kleinere stroom van 10  $\mu$ A. Het verbruik van de spanningsdeler is reeds eerder bepaald in vergelijking 5.5. In Tabel 9 staan de vermogens van de passieve verbruikers gegroepeerd.

Tabel 9: Verbruiken passieve elektronische componenten

Elektronische component	Verbruik [W]
ESP32 dev kit v2 passief	0.00005
Spanningsdeler	0.06776

Naast het verbruik van alle componenten speelt de zelfontlading van de batterij ook een grote rol in de energieberekening. Deze bedraagt bij een temperatuur van 25°C 3% per maand [22]. Hieruit kan de zelfontlading per dag berekend worden zoals in vergelijking 5.6.

$$\begin{aligned} \text{Zelfontlading per week} &= \frac{\text{maandelijkse ontlading} * \text{capaciteit}}{4 \text{ weken}} & (5.6) \\ \text{Zelfontlading per week} &= \frac{0.03 * 18 \text{ Ah}}{4 \text{ weken}} = 0.135 \text{ Ah} = 3.2 \text{ Wh} \\ \text{Zelfontlading per 6 weken} &= \text{zelfontlading per week} * 6 = 0.135 \text{ Ah} * 6 = 0.81 \text{ Ah} \\ &= 19 \text{ Wh} \end{aligned}$$

#### 5.4.1 Scenario 1

Het eerste scenario berekent de benodigde capaciteit van de batterij. In deze berekeningen wordt er uit gegaan dat gedurende 6 weken, de cycling desk niet gebruikt zal worden. De energie die de cycling desk in deze periode zal verbruiken, is de minimale capaciteit waarover de batterij dient te beschikken. Voor deze berekeningen wordt er enkel gerekend met het verbruik van de passieve verbruikers zijnde de ESP32 en de spanningsdeler. De totale energie van deze componenten is berekend aan de hand van formules 5.7 en 5.8.

$$\begin{aligned} \text{Verbruikte energie ESP} &= P_{ESP} * 24 \text{ uur} * 6 \text{ weken} * 7 \text{ dagen} & (5.7) \\ 0.0005 \text{ W} * 24 \text{ h} * 6 \text{ w} * 7 \text{ d} &= 0.5 * 10^{-2} \text{ Wh} \\ \frac{0.0504 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} &= 2.1 * 10^{-3} \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verbruikte energie spanningsdeler} &= P_{\text{spanningsdeler}} * 24 \text{ uur} * 6 \text{ weken} * 7 \text{ dagen} & (5.8) \\ 0.068 \text{ W} * 24 \text{ h} * 6 \text{ w} * 7 \text{ d} &= 68.3 \text{ Wh} = 2.85 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\text{Totale capaciteit} = 2.1 * 10^{-3} \text{ Ah} + 2.85 \text{ Ah} = 2.85 \text{ Ah}$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de reeds aanwezige batterijen met een capaciteit van 18 Ah zullen voldoen.

#### 5.4.2 Scenario 2

Het tweede scenario voor het bepalen van het energieverbruik onderzoekt hoeveel uren er getrapt moet worden om een vermogen te genereren dat even groot is als het eigenverbruik van de cycling desk wanneer er met een vermogen van 100W getrapt wordt. In andere woorden wordt er berekend hoeveel uur er in de 6 weken aan 100W getrapt moet worden zodanig dat de cycling desk nooit opgeladen moet worden.

In deze berekeningen wordt er naast de passieve verbruikers ook rekening gehouden met de actieve verbruikers. Ook is er van uit gegaan dat het enkel mogelijk is een vermogen op te wekken doorheen de week en niet in het weekend. Ook bij deze berekeningen wordt er weer gerekend met een periode van 6 weken. De benodigde trapuren  $x$  zijn berekend door het oplossen van vergelijking 5.9.

$$\text{actief verbruik} + \text{passief verbruik} + \text{lekkage batterij} = 84W * x \quad (5.9)$$

$$6 \text{ weken} = 24h * 7 \text{ dagen} * 6 \text{ weken} = 1008h$$

$$27.55W * x + 0.00005W * (1008h - x) + 0.06776W * 1008h + 19.48W = 84W * x$$

$$x = 1.55h$$

#### 5.4.3 Scenario 3

Het derde scenario dat onderzocht wordt, is een extensie van het tweede scenario. In deze berekeningen wordt er wel rekening gehouden met het opladen van elektronische apparaten door de gebruiker. Aangezien de USB-C en USB-A aansluiting van de cycling desk een vermogen van 30W en 18W maximaal aan de output kunnen aanbieden, zijn er twee verschillende berekeningen uitgevoerd[31]. In vergelijking 5.10 wordt het aantal trapuren bepaald wanneer er getrapt wordt met een vermogen van 100W en er opgeladen wordt door middel van de USB-C aansluiting met 30W. Verder zijn dezelfde veronderstellingen gebruikt als bij het tweede scenario.

$$\text{actief verbruik} + \text{passief verbruik} + \text{lekkage batterij} + \text{verbruik opladen} = 100W * x \quad (5.10)$$

$$27.55W * x + 0.00005W * (1008h - x) + 0.06776W * 1008h + 19.48Wh + 30W * x = 84W * x$$

$$x = 3.3h$$

De tweede berekening van dit scenario berekent het aantal trapuren wanneer er via de USB-A aansluiting opgeladen wordt met een vermogen van 18W. Voor de rest van de berekening is identiek dezelfde werkwijzen gevolgd als bij de eerste berekening van dit scenario.

$$\text{actief verbruik} + \text{passief verbruik} + \text{lekkage batterij} + \text{verbruik opladen} = 84W * x \quad (5.11)$$

$$27.55W * x + 0.00005W * (1008h - x) + 0.06776W * 1008h + 19.48W + 18W * x = 84W * x$$

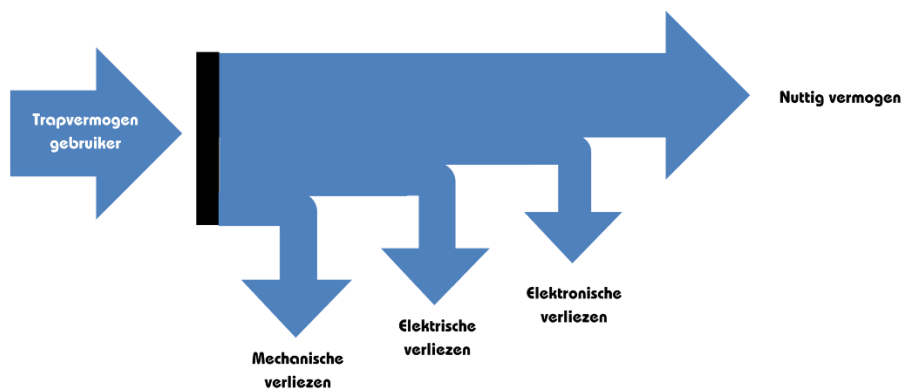
$$x = 2.3h$$

#### 5.4.4 Conclusie

Uit de resultaten van de berekeningen in verband met het energieverbruik kunnen meerdere dingen geconcludeerd worden. Ten eerste zullen de batterijen die reeds aanwezig waren, voldoen voor deze toepassing. Ten tweede kan er besloten worden dat wanneer de gebruiker 100 W op de cycling desk trapt, het mogelijk is om de USB-C aansluiting op 30W te belasten. Tot slot kan uit deze resultaten afgeleid worden dat er in het ergste geval 3.3 uur per 6 weken gefietst dient te worden om de cycling desk volledig stand alone te gebruiken. Dit lage verbruik komt voort uit de keuze om geen scherm op de cycling desk zelf te installeren, maar te werken met een webserver. Zoals in hoofdstuk 6 nog verduidelijkt wordt, zal er echter wel één Raspberry Pi op het net aangesloten worden om dit mogelijk te maken. Het verbruik van de Raspberry is nog niet verdisconteerd in deze berekening aangezien dit geen invloed heeft op het vermogen dat opgewekt dient te worden om de batterij bij te laden.

#### 5.5 Rendement van de cycling desk

De verliezen in het volledige systeem van de cycling desk zijn weergegeven in Figuur 76. De berekening vertrekt van het vermogen dat door de gebruiker wordt overgebracht op de pedalen. Dit vermogen wordt niet helemaal overgebracht naar de as van de generator door de mechanische verliezen. Deze mechanische verliezen worden vertegenwoordigd door zowel de overbrengingsverliezen als de lager verliezen. Vervolgens worden de elektrische verliezen hiervan afgetrokken, deze verliezen worden bepaald door het rendement van de generator en gelijkrichter. De laatste verliespost zijn de elektronische verliezen, hierin wordt er gekeken naar de hoeveelheid vermogen die na gelijkrichting overblijft, waarmee de batterij en/of elektronische apparaten opgeladen kunnen worden.



Figuur 76: Sankey diagram cycling desk

Een ketting overbrenging heeft een rendement van 97%[51]. Zowel de trapas als de generator zijn voorzien van kogellagers waarvan het rendement 99% is[51]. Het totaal mechanisch rendement kan dan berekend worden volgens vergelijking 5.10.

$$\begin{aligned}\eta_{\text{mechanisch}} &= \eta_{\text{ketting}} * \eta_{\text{lagers}} & (5.10) \\ \eta_{\text{mechanisch}} &= 0.97 * 0.99 \\ \eta_{\text{mechanisch}} &= 0.96\end{aligned}$$

Het elektrisch rendement wordt bepaald door het rendement van de gelijkrichter en het rendement van de generator te vermenigvuldigen. Het rendement van de gelijkrichter kan bepaald worden door de uitgangsspanning te delen door de ingangsspanning. Uit Figuur 55 kan gesteld worden dat de spanningsval over elke diode 0.9V is, aangezien er twee diodes nodig zijn voor de gelijkrichting per fase te realiseren, komt dit neer op 1.8V. De berekening van het elektrisch rendement is weergegeven in vergelijking 5.12.

$$\eta_{elektrisch} = 0.84 * \frac{28.15V - 1.8V}{28.15V} \quad (5.12)$$

$$\eta_{elektrisch} = 0.79$$

De laatste factor die nog een rol speelt, is het rendement van de elektronische componenten. Deze wordt bepaald door het nuttige vermogen voor de gebruiker te delen door het vermogen dat aangeboden wordt aan de elektronische schakeling. De berekening hiervoor staat in vergelijking 5.13.

$$\eta_{elektronisch} = \frac{P_{aangeboden} - P_{elektronische\ schakeling}}{100W * \eta_{mechanisch} * \eta_{elektrisch}} \quad (5.13)$$

$$\eta_{elektronisch} = \frac{27.55W}{100W * 0.96 * 0.79}$$

$$\eta_{elektronisch} = 0.63$$

Het totaal rendement van de cycling desk kan dan berekend worden door de 3 rendementen te vermenigvuldigen met elkaar. Dit staat uitgewerkt in vergelijking 5.14.

$$\eta_{totaal} = \eta_{mechanisch} * \eta_{elektrisch} * \eta_{elektronisch} \quad (5.14)$$

$$\eta_{totaal} = 0.96 * 0.79 * 0.63$$

$$\eta_{totaal} = 0.48$$

Met een totaal rendement van 48% wil het zeggen dat wanneer de gebruiker met een vermogen van 100W zou trappen er 48W ter beschikking is om zijn e-device op te laden.

## 5.6 Software

Dit hoofdstuk biedt een gedetailleerde uitleg van de software die is ontwikkeld met behulp van Arduino IDE voor het monitoren van gegevens en het aansturen van uitgangen. De software is specifiek ontworpen om sensordata van de ESP32 in te lezen en op basis daarvan passende uitgangen aan te sturen, terwijl de verzamelde gegevens ook zichtbaar worden gemaakt voor gebruikers. De uitleg van de software is gestructureerd aan de hand van flowcharts, waardoor het programma op een duidelijke en gestructureerde manier wordt gepresenteerd.

Om de complexiteit van de software te verminderen, worden de verschillende deelgroepen waaruit de software bestaat in dit hoofdstuk afzonderlijk behandeld, hoewel ze in werkelijkheid gelijktijdig worden uitgevoerd. De uitleg richt zich op de volgende deelgroepen:

### De setup

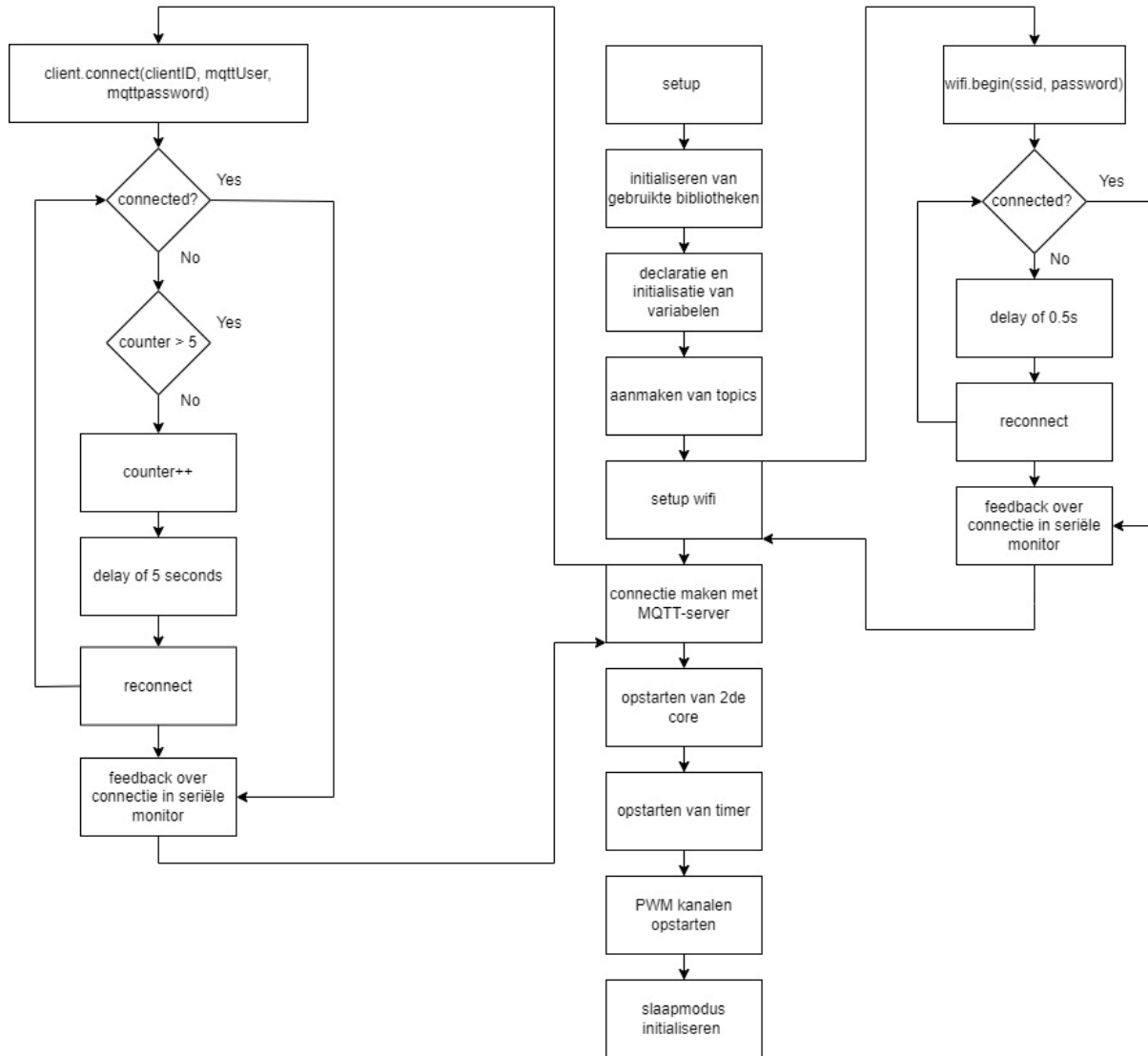
In de setup-deelgroep worden de initiële configuraties en instellingen van de software uitgevoerd. Dit omvat onder andere het instellen van de communicatieprotocollen, het configureren van de benodigde bibliotheken en het initialiseren van variabelen en parameters. Een gedetailleerde flowchart illustreert de opeenvolging van acties die plaatsvinden tijdens de setup-fase.

### Dataverwerking core 1 en core 2:

De deelgroep voor dataverwerking behandelt het proces van het inlezen, verwerken en analyseren van sensordata. Dit omvat het opzetten van de communicatie met de ESP32, het ontvangen van de sensordata en het uitvoeren van gegevensvalidatie en -verwerking. Een gedetailleerde flowchart illustreert de stappen die worden genomen tijdens het verwerkingsproces.

### 5.6.1 Setup

Aan de hand van de flowchart, gegeven in Figuur 77, wordt de werking van de setup duidelijk weergegeven. De setup is een deel van het programma dat één keer doorlopen wordt bij het opstarten van de ESP32.



Figuur 77: Flowchart setup

De eerste stap van de setup is het initialiseren van de bibliotheken, voor deze toepassing zijn de volgende bibliotheken gebruikt:

- <WiFi.h>
- <PubSubClient.h>
- <Wire.h>

De eerste twee dienen voor het gemakkelijk op punt stellen van de connectie met een wifi netwerk alsook het gemakkelijk verbinden met de MQTT-server. De laatste is voor het inlezen van sensoren.

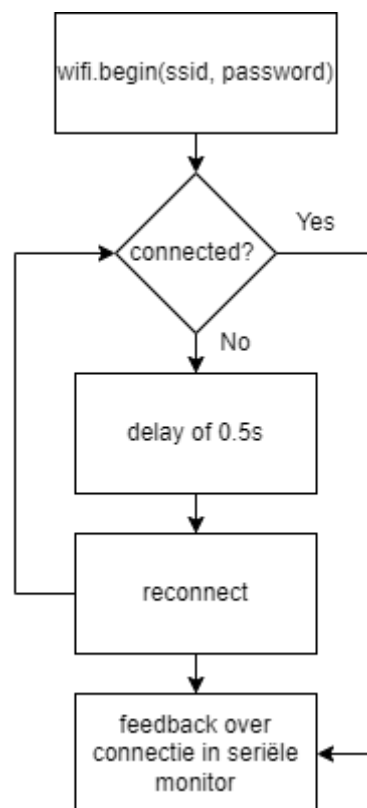
Hierna worden de variabelen geïnitieerd en gedeclareerd, hierbij is het belangrijk om op te merken dat er met een 12bit ADC gewerkt wordt en de sensordata dus nauwkeurig kan worden



ingelezen. Hierdoor wordt aan al de variabelen, gebruikt voor sensordata, het datatype “float” toegekend. Dit datatype wordt gebruikt om reële getallen met een zwevende komma op te slaan.

De topics fungeren als gegevensvertegenwoordigers die worden uitgewisseld tussen de ESP32 en de Raspberry Pi. Het is van cruciaal belang voor de Raspberry Pi om selectief de data te verwerken die door de ESP32 wordt verzonden, in plaats van alle beschikbare gegevens te verwerken. De topics dienen als deelgebieden van de gegevens waarin de Raspberry Pi specifiek geïnteresseerd is. De ESP32 verzendt daarom een topic met bijbehorende gegevens, waardoor de Raspberry Pi op de hoogte is van de specifieke gegevens die worden verzonden. Deze benadering zorgt voor een efficiëntere verwerking en gebruik van de beschikbare gegevens door de Raspberry Pi. Verdere uitleg over hoe de datatransmissie tussen ESP32 en Raspberry pi werkt, wordt uitgelegd in het volgend hoofdstuk.

De volgende stap in de setup is het waarborgen van een goede wifi connectie, hiervoor wordt, zoals hierboven vermeld, de <WiFi.h> bibliotheek gebruikt, deze heeft voorgeprogrammeerde functies die het instellen van een goede wifi connectie vergemakkelijkt. Bij het begin van de wifi setup wordt er een SSID en password meegegeven aan de functie Wifi.begin(), deze probeert dan aan de hand van deze twee parameters een connectie te maken met het wifi netwerk. Wanneer deze connectie lukt, wordt er in de seriële monitor feedback gegeven over de wifi connectie. Indien dit niet lukt, zal er via een iteratief proces connectie gemaakt worden, per iteratie wordt er 0.5s gewacht om dan te reconnecten. In de reconnect functie wordt er feedback over waarom de connectie niet tot stand gebracht kan worden, gegeven in de seriële monitor. In Figuur 78 staat het deel van de flowchart gegeven dat verantwoordelijk is voor het waarborgen van de goede wifi connectie.



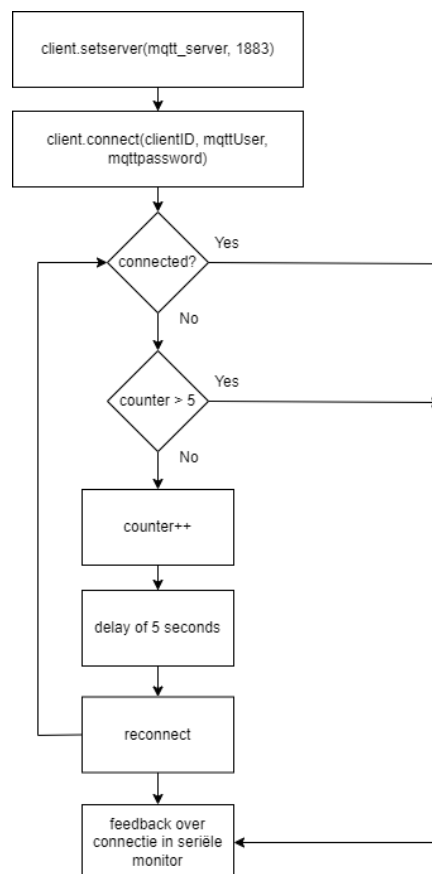
*Figuur 78: Flowchart wifi setup*

Wanneer er connectie is met het wifi netwerk, is de volgende stap de verbinding waarborgen met de MQTT- server, aan de hand van deze connectie worden al de parameters die in de visualisatie gebruikt worden, doorgestuurd. Om deze connectie te maken wordt er zoals hierboven vermeld, gebruik gemaakt van de <PubSubClient.h> bibliotheek. De flowchart om deze connectie de waarborgen, staat gegeven in Figuur 79.

Dit algoritme start met de functie `client.setserver()`, in deze functie wordt het IP-adress van de MQTT-server meegegeven samen met de poort (1883). Standaard wordt poort 1883 gebruikt voor niet versleutelde communicatie, en poort 8883 gebruikt voor versleutelde communicatie.

Aangezien de MQTT-server beveiligd is, wordt er daarna met een specifieke username en password ingelogd op de MQTT-server. Dan volgt een iteratief proces dat controleert of deze connectie goed tot stand is gebracht. Wanneer dit het geval is, zal er in de seriële monitor feedback komen over de connectie.

Als de connectie niet tot stand is gekomen, zal er via een teller gekeken worden hoeveel iteraties er nodig zijn om de connectie tot stand te brengen. Indien het meer dan 5 iteraties in beslag neemt om de connectie tot stand te brengen, zal de er feedback over mogelijke problemen in de seriële monitor komen.



Figuur 79: Flowchart MQTT-setup

Nadat al de draadloze communicatie tot stand is gebracht, zal de tweede core van de ESP32 worden ingesteld. Beide cores zullen gebruikt worden om simultaan data in te lezen, data te versturen en output aan te sturen. De initialisatie van de tweede core gebeurt met de code weergegeven in Figuur 80.

```
xTaskCreatePinnedToCore (
    Task1code,
    "Weerstandsregeling",
    10000,
    NULL,
    0,
    &Task1,
    0);
```

*Figuur 80: Code initialisatie tweede core*

In deze programmacode staan 7 verschillende parameters die in Tabel 10 worden verduidelijkt.

*Tabel 10: Parameters tweede core*

Code	Uitleg
Task1code	De functie waarin de tweede core wordt geprogrammeerd
"weerstandregeling"	De naam van de opdracht die wordt uitgevoerd door de tweede core
10000	Stackgrootte van de tweede core
NULL	
0	Prioriteit van de taak
&Task1	
0	De core waarop de taak wordt uitgevoerd

In het algoritme wordt er vaak gebruik gemaakt van timers, een correcte initialisatie van deze timers is noodzakelijk. Om de timers te initialiseren wordt er gebruik gemaakt van de programmacode weergegeven in Figuur 81. In de eerste stap wordt de timer aangemaakt en er wordt aangegeven hoe groot de prescaler is. Vervolgens wordt er een ISR aangemaakt van de timer. Dit is een deel programmacode dat wordt uitgevoerd telkens wanneer het alarm van de timer geactiveerd wordt. De laatste belangrijke stap in het instellen van de timer is, meegeven hoelang het duurt voor het alarm van de timer afgaat.



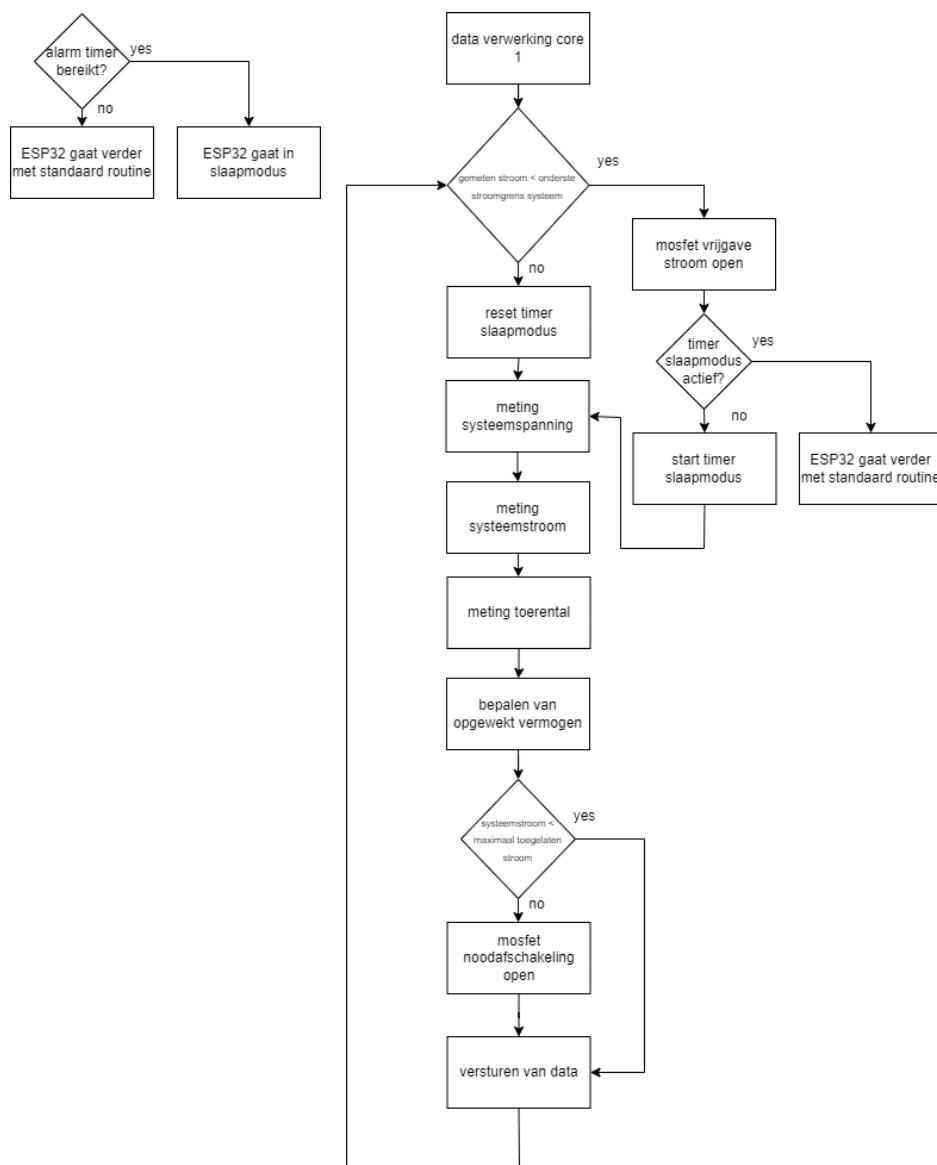
*Figuur 81: Setup timer*

De voorlaatste stap in de setup is het definiëren van de PWM-kanalen. Bij de ESP32 is het zo dat bijna elke pin de optie heeft om PWM-signalen te sturen, er moet echter op voorhand ingesteld worden welke pinnen PWM-signalen moeten sturen.

Als laatste wordt de energiebesparingsstand (slaapmodus) ingesteld, de ESP32 biedt tal van verschillende slaapmodi waarbij er in dit project enkel gewerkt is met de deep sleep modus met external wake-up. Dit wil zeggen dat de ESP32 een op voorhand gedefinieerde pin bewaakt in de deep sleep modus en vanaf het moment dat deze pin getriggerd wordt, zal de ESP32 ontwaken uit deep sleep modus en overschakelen naar normale werking.

### 5.6.2 Dataverwerking core 1

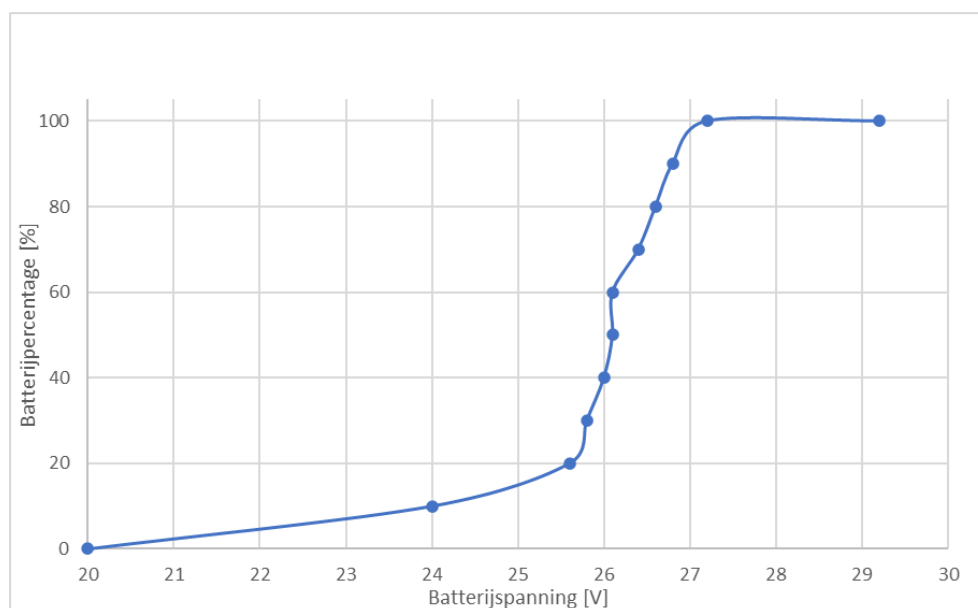
De dataverwerking is een gecompliceerd deel van de programmacode, in Figuur 82 is de flowchart gegeven waarin de verschillende stappen van de dataverwerking weergegeven staan. In de volgende paragrafen wordt een duidelijke uitleg gegeven over elk van deze blokken met specifieke flowchart waar nodig.



Figuur 82: Flowchart dataverwerking

Bij aanvang van de dataverwerking wordt er een eerste meting gedaan van de stroom, deze meting dient om te controleren of de cycling desk effectief gebruikt wordt. Wanneer dit niet het geval is, wordt de vrijgave van stroom naar de uitgang stopgezet, dit om te voorkomen dat de gebruiker van de cycling desk niet zonder zelf inspanning te leveren, gebruik kan maken van de batterijen om zijn elektronische apparaten op te laden. De volgende stap is het activeren van de slaapmodus-timer, het alarm van deze timer staat ingesteld op één minuut. Dit heeft als gevolg dat wanneer er langer als één minuut geen energie wordt opgewekt, de ISR van de slaapmodus-timer doorlopen wordt en de ESP32 in slaapmodus gaat. Wanneer er wel een stroom gemeten wordt, zal de slaapmodus-timer gereset worden.

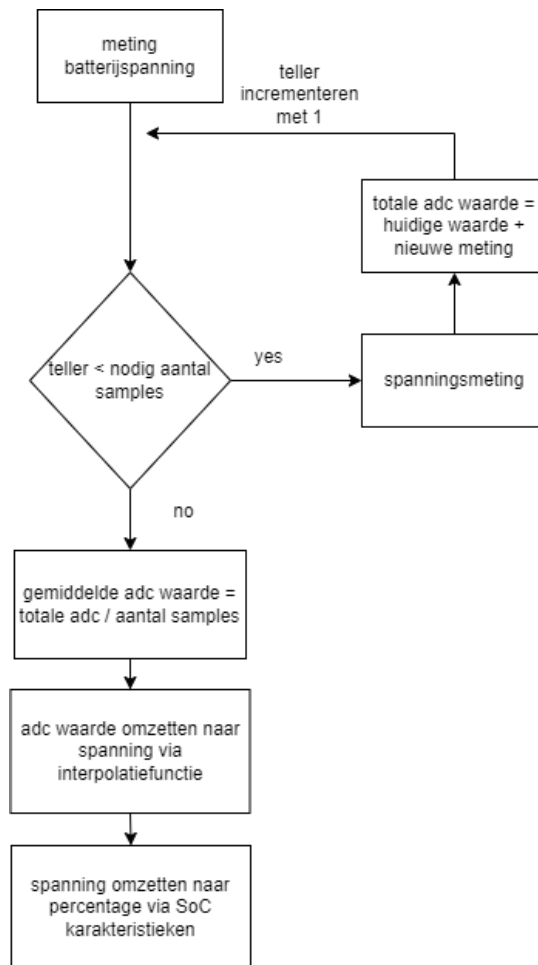
Vervolgens wordt de batterijspanning gemeten, aan de hand van deze spanning is het mogelijk om het batterijpercentage te bepalen. In voorgaand hoofdstuk is reeds besproken hoe de SoC van een batterij in verhouding staat met het effectief batterijpercentage. In Figuur 83 is de SOC weergegeven in grafiekvorm. Hierin is zichtbaar dat het percentage geen lineair verloop volgt.



*Figuur 83: Soc in grafiekvorm*

Het batterijpercentage wordt in de code via een array bepaald. Er wordt gemeten wat de spanning is om vervolgens te kijken tussen welke 2 batterijpercentages de gemeten waarde ligt. Dan wordt er via een interpolatiefunctie het benaderde percentage berekend. In Figuur 84 is de flowchart gegeven waarin het algoritme besproken wordt dat de batterijspanning meet en omzet naar het gepaste percentage.

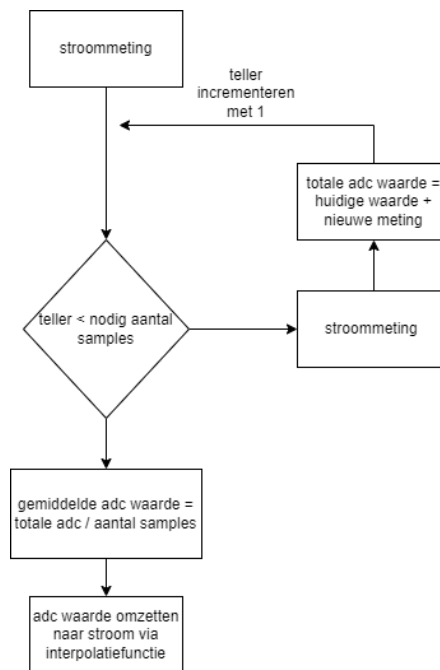
Om een correcte spanning te meten, worden er verschillende samples in één meting gedaan om daarna de gemiddelde ADC-waarde uit al deze samples te halen. Vervolgens wordt deze ADC-waarde via een interpolatiefunctie omgezet naar een batterijspanning om als laatste deze batterijspanning om te zetten naar een percentage, hoe de laatste twee stappen exact uitgevoerd worden is besproken in voorgaand hoofdstuk.



*Figuur 84: Flowchart spanningsmeting*

De stroom die in het systeem vloeit, wordt bepaald met de ACS712-30A, de werking van deze sensor is al besproken in het vorige hoofdstuk. Om een correcte meting uit te voeren, is het belangrijk om meerdere samples te nemen gedurende de meting. In Figuur 85 is de flowchart weergegeven die weergeeft hoe de stroom in dit project gemeten wordt. Hierin wordt met behulp van een op voorhand opgegeven aantal samples een stroommeting uitgevoerd. Vervolgens wordt dan uit al deze samples de gemiddeld gemeten waarde bepaald door de totale som van ADC-waardes te delen door het aantal samples. Op het einde van deze functie wordt dan deze ADC-waarde omgezet naar een stroom via de interpolatiefunctie die in voorgaand hoofdstuk is toegelicht.

Om echter een goede meting te doen is het belangrijk om deze sensor op voorhand te kalibreren. Hiermee wordt de maximale stroom in het systeem en de minimale stroom in het systeem opgemeten, de bijhorende ADC-waardes worden in de interpolatiefunctie gebruikt om de effectieve stroom te bepalen.



Figuur 85: Flowchart stroommeting

Het opgewekt vermogen is dan eenvoudig te bepalen door de gemeten stroom te vermenigvuldigen met de opgewekte spanning.

Om de trapfrequentie van de fietsmotor te bepalen, wordt een stroommeting gedaan. Door uit deze stroommeting de duur van één periode te bepalen, gecombineerd met het aantal poolparen van de motor, kan de trapfrequentie berekend worden.

De duur van één periode kan worden bepaald door het tijdsverschil te meten tussen opeenvolgende nul doorgangen van de stroom. Deze meting geeft de tijdsduur weer die nodig is voor één complete cyclus van de motor.

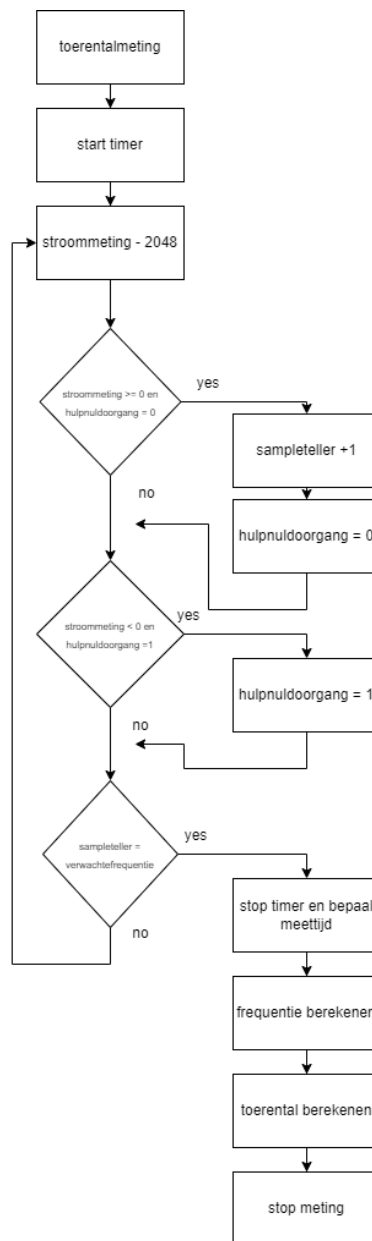
Indien de periode gekend is en rekening houdend met het feit dat een volledige cyclus overeenkomt met het passeren van elk poolpaar van de motor, kan het toerental van de motor worden berekend aan de hand van vergelijking 5.15.

$$Motortoerental = \frac{60}{Periode * aantal\ poolparen} \quad (5.15)$$

In Figuur 86 is de flowchart weergegeven van de toerentalmeting. Bij aanvang van de meting wordt er een timer gestart, deze dient om bij te houden hoelang de meting exact duurt.

Vervolgens wordt een eerste meting van de stroom gedaan, hiervan wordt 2048 afgetrokken. Dit wordt gedaan zodat in de voorwaardes van de volgende blokken kan vergeleken worden met 0 als referentie. Uit deze meting wordt gecontroleerd of de adc-waarde groter is dan nul en of de nul doorgang hulpvariabele gelijk is aan 0. Wanneer dit het geval is, wordt een sampleteller verhoogd met 1. Deze sampleteller telt het aantal halve periodes die in een meting voorkomen.

Wanneer de stroommeting kleiner is dan 0 en de nul doorgang hulpvariabele gelijk is aan 1, wordt de nul doorgang hulpvariabele op 0 gezet. Deze hulpvariabele wordt dus enkel gebruikt om te kijken of er effectief een halve periode voorbij is voordat de sampleteller terug verhoogd wordt. Als laatste wordt er gekeken of de sampleteller gelijk is aan de verwachte frequentie en dan stopt de meting.

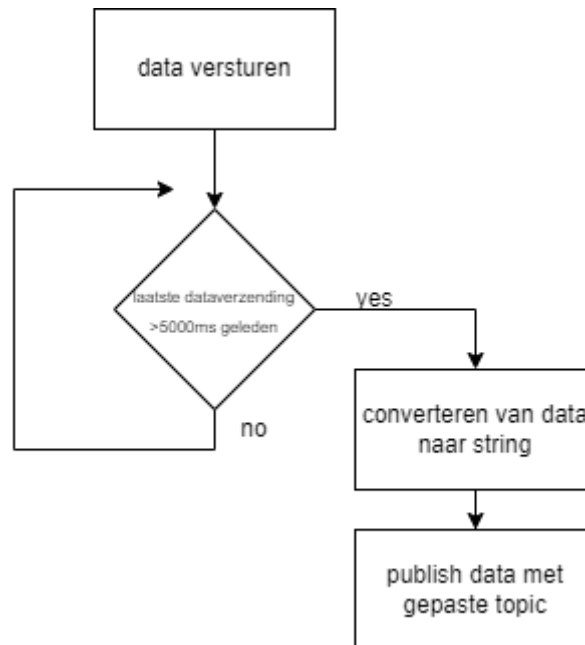


Figuur 86: Flowchart toerentalmeting



De laatste stap in de dataverwerking van core 1 is het versturen van de data naar de MQTT-server. In Figuur 87 is de flowchart weergegeven die het algoritme van de dataverwerking doorloopt.

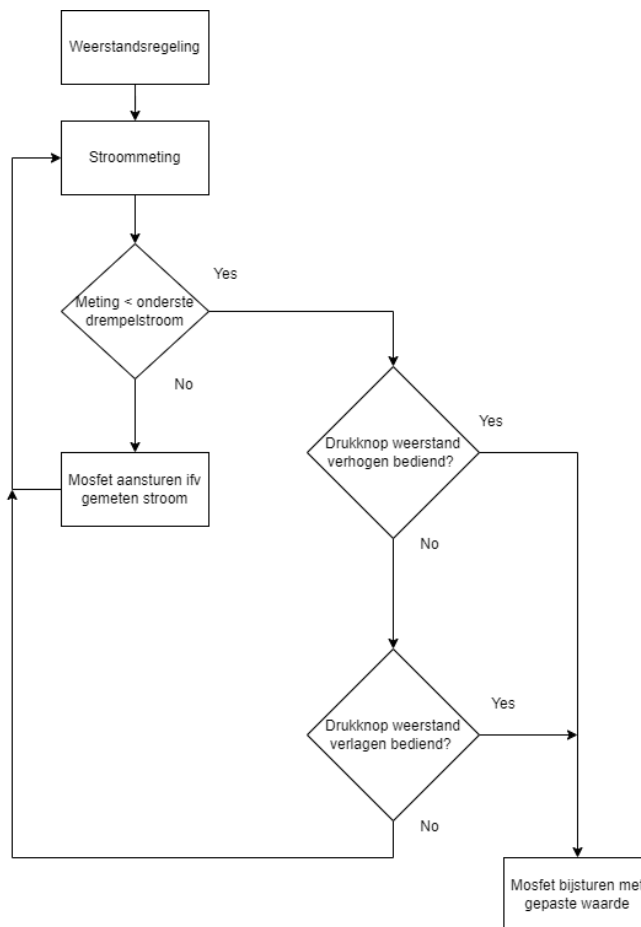
In de code wordt er als eerste gecontroleerd of het langer dan 5000ms geleden is dat er nog data verstuurd is. Wanneer deze conditie waar is, betekent dit dat er voldoende tijd verstreken is om nieuwe data te versturen. Dan wordt de data die van het datatype float is, geconverteerd naar een string. De laatste stap is het effectief versturen van de data met de gepaste topic.



Figuur 87: Flowchart data versturen

### 5.6.3 Dataverwerking core 2

De tweede core wordt enkel gebruikt om de weerstandsregeling aan te sturen. Er zijn twee mogelijkheden om de weerstandsregeling aan te sturen. De eerste is wanneer de gebruiker zelf gebruikt maakt van de drukknoppen die bevestigd zijn op de stoel, hiermee kan hij zelf de weerstand verhogen of verlagen om zo het trapgevoel in te stellen naar zijn wensen. Een tweede manier is op basis van metingen die de ESP32 uitvoert. Het is belangrijk om te vermelden dat de tweede manier voorrang heeft op de eerste. Wanneer de stroom in de elektrische schakeling te hoog wordt en de batterij dit niet meer krijgt verwerkt, vallen de mogelijke weerstandsinstellingen van de gebruiker weg en neemt de ESP32 de weerstandsregeling over. In Figuur 88 is een flowchart gegeven van dit algoritme.



Figuur 88: Weerstandsregeling



## 6 Visualisatie

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van welke protocollen er gebruikt zijn om een goede verbinding te creëren tussen de hardware van de cycling desk en de gebruiker van de cycling desk. Vervolgens wordt er uitgelegd op welke manier de visualisatie ontworpen is alsook wat het uiteindelijke resultaat hiervan is.

### 6.1 Node-Red

Node-Red is een open source programmeer tool die vaak gebruikt wordt voor Internet of Things (IoT) toepassingen[52]. Het maakt gebruik van flow gebaseerd programmeren, dit is een techniek waarbij verschillende black-boxes (nodes) met elkaar verbonden worden tot een netwerk. Dit netwerk wordt vervolgens gebruikt om verschillende hardwarecomponenten, zoals een ESP32, met elkaar te laten communiceren. Elke node in dit netwerk heeft als doel data in te lezen, om te vormen en uit te sturen. Afhankelijk van de gebruikte nodes is het mogelijk de eigenschappen van het netwerk te veranderen.

Door de veelzijdigheid en gebruiksvriendelijke manier van werken, is deze programmeertools gebruikt om de ingelezen data van de cycling desk te koppelen aan de visualisatie. De koppeling maakt gebruik van het MQTT-protocol, de werking hiervan wordt uitbundig uitgelegd in de volgende paragraaf.

### 6.2 MQTT-protocol

Aan de basis van het MQTT-protocol ligt het publish-subscribe model. Dit model maakt het mogelijk om verschillende clients met elkaar te laten communiceren zonder een directe verbinding met elkaar te hebben. In plaats daarvan verbinden clients met een MQTT-broker. Zo een MQTT-broker is de centrale component in een MQTT-netwerk en fungeert als een tussenpersoon tussen publishers en subscribers. De broker ontvangt al de gepubliceerde berichten en stuurt ze door naar subscribers op basis van de topics waarop ze zijn geabonneerd. In dit publish en subscribe model zijn er twee belangrijke rollen: de publishers en de subscribers.

De publishers zijn verantwoordelijk voor het publiceren van berichten naar specifieke topics op de broker. De topic is een string die ervoor zorgt dat de berichten die door een publisher verstuurd worden, op een gemakkelijke manier gecategoriseerd kunnen worden. Wanneer er zo een bericht door de publisher naar een broker gestuurd wordt, zal de broker op zijn beurt kijken naar al de geïnteresseerde subscribers en dit bericht dan ook aan hun bezorgen.

De subscribers zijn clients die geïnteresseerd zijn in een bepaalde topic, zij kunnen zich dan abonneren (subscriben) op deze topics bij een broker. Wanneer zo een subscriber geabonneerd is op een specifieke topic bij de broker, zal de broker ervoor zorgen dat al de topics waarop de subscriber geabonneerd is, verstuurd worden naar de subscriber. Via deze manier is het mogelijk dat subscribers data kunnen ontvangen van meerdere publishers terwijl de publishers niet op de hoogte hoeven te zijn van de aanwezigheid van specifieke subscribers.

In Node-Red zijn er voor geprogrammeerde nodes welke toelaten te subscriben en publishen op een bepaalde topic. Meer bepaald de MQTT Input en MQTT Output nodes welke onderdeel zijn van de standaard bibliotheek. Om data in te lezen met de MQTT Input node dient er enkel het IP-adres van de MQTT-server meegegeven te worden alsook de topic waarop de data gepubliceerd wordt.

## 6.3 Verbindingsopbouw van microcontroller tot server

In dit project is de Raspberry Pi zowel MQTT-broker als MQTT-server. De eerste stap in het volledige communicatieproces tussen de microcontroller en de MQTT-server is ervoor zorgen dat zowel de MQTT-server als de microcontroller op hetzelfde netwerk verbonden zijn. Vervolgens kan de microcontroller via het IP-adres en de poort van de server connectie maken met de server. Hierbij stuurt de microcontroller een verbindingsverzoek naar de server en wacht op bevestiging van de server.

Vanaf het moment dat de verbinding tot stand is gebracht, wordt er een MQTT-sessie geopend. Deze sessie zal actief blijven zolang de verbinding tussen microcontroller en server aanwezig is. Het MQTT-protocol is gebaseerd op TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol). Dit is een overkoepelend protocol dat specificeert hoe data wordt uitgewisseld over het internet door end-to-end communicatie te voorzien. Het bepaalt hoe de data wordt verdeeld in pakketten, hoe het wordt geadresseerd, verzonden, gerouteerd en ontvangen op de juiste bestemming. Het is een protocol dat zeer veel gebruikt wordt voor IoT-toepassingen, dit zowel door zijn beperkt gebruik van bandbreedte, betrouwbaarheid en minimaal stroomverbruik[53].

### 6.3.1 Beveiliging

In dit project is het belangrijk dat niet zomaar elke microcontroller verbinding kan maken met de MQTT-server, hierdoor wordt er na de verbindingsopbouw een authenticatie-en autorisatie proces doorlopen om de identiteit van de microcontroller te bepalen. Hierbij houdt de authenticatie in dat de microcontroller een specifieke gebruikersnaam en wachtwoord moet meekrijgen om verbinding te kunnen maken met de server. De autorisatie houdt in dat de MQTT-server zelf bepaalt welke acties de geauthentiseerde microcontroller kan uitvoeren.

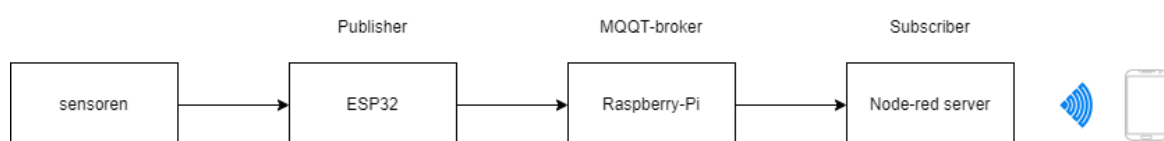
Om deze beveiliging in werking te stellen is, er gewerkt volgens de werkwijze beschreven in [54]. Het is dus altijd mogelijk het wachtwoord en de gebruikersnaam aan te passen in de toekomst. Aangezien deze ook hard coded zijn in de software op de ESP32, zullen deze ook hier overeenstemmend moeten aangepast worden.

### 6.3.2 Koppeling van microcontroller tot gebruiker

In Figuur 89 is een schematisch overzicht weergegeven van welke koppelingen er allemaal tot stand zijn gebracht om de data, ingelezen door sensoren, op een efficiënte manier bij de gebruikers te krijgen.

Hierbij zal de ESP32 fungeren als publisher, die zijn ingelezen data koppelt aan specifieke topics en doorstuurt naar de Raspberry Pi, die fungeert als broker. De Node-Red-server fungeert als subscriber en is geabonneerd op al de sensordata van de ESP32, hierdoor zal de Raspberry Pi deze data onmiddellijk bezorgen wanneer hij deze ter beschikking heeft. De gebruikers van de cycling desk maken dan een verbinding met de Node-Red userinterface die een visueel overzicht weergeeft van al de data.

Hierbij is het zeer belangrijk te vermelden dat de gebruikers van de cycling desk niet gezien worden als subscribers maar als clients van de Node-Red-server.



Figuur 89: Overzicht communicatie

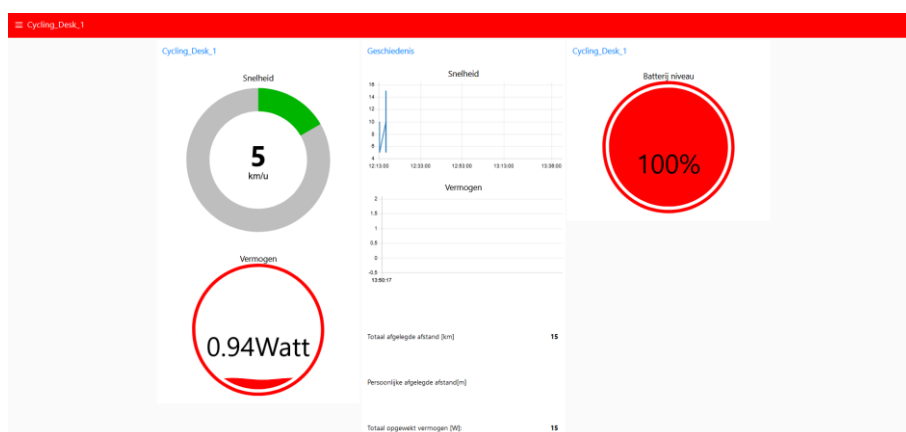
## 6.4 Node-Red-dashboard

Het dashboard is ontworpen met behulp van de node-red-dashboard library. Dit is een bibliotheek die nodes bevat voor het creëren van een live data dashboard. Wanneer een gebruiker inlogt op de server door middel van het scannen van een QR-code, komt hij automatisch terecht op de gemeenschappelijke pagina van de cycling desks. Op deze pagina zijn de voornaamste gegevens van de 4 cycling desks weergegeven. Meer specifiek wordt er een overzicht gegeven van het momenteel opgewekt vermogen, snelheid en batterijniveau. Ook worden de totale afgelegde afstand en het totaal opgewekt vermogen van de 4 cycling desks tezamen weergegeven. Centraal op deze pagina worden ook de sponsors in de kijker gezet. De gemeenschappelijk pagina van het dashboard is getoond in Figuur 90.



Figuur 90: Gemeenschappelijke pagina van de interface

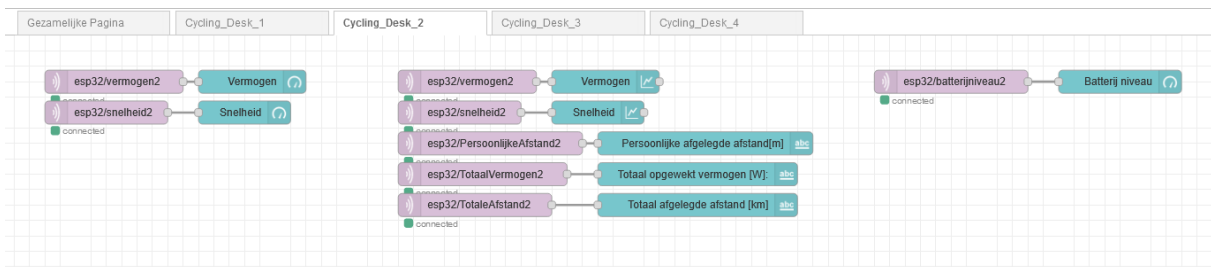
Door middel van het hamburger menu kan er genavigeerd worden naar de pagina van één specifieke cycling desk. Op deze pagina worden boven op de parameters die reeds op de gemeenschappelijke pagina getoond staan, ook de cycling desk specifieke parameters getoond. Zo wordt het totaal opgewekte vermogen en de totale afgelegde afstand van de cycling desk weergegeven. Hiernaast kan de gebruiker op deze pagina ook zijn persoonlijk opgewekt vermogen en afgelegde afstand bekijken. Eén van de vier pagina's is weergegeven in Figuur 91.



Figuur 91: Cycling desk specifieke pagina van de interface

Achterliggend is de visualisatie opgebouwd in de Node-Red programmeeromgeving. Deze is opgedeeld in subflows welke overeenkomen met de verschillende tabbladen van de visualisatie. In elke subflow worden de parameters van een bepaalde cycling desk ingelezen. Dit gebeurt, zoals reeds vermeld, met de MQTT-Input nodes. Om de ingelezen data weer te geven, zijn deze nodes doorverbonden met

de juiste node-red-dashboard nodes. De opbouw van een subflow voor de tweede cycling desk staat in Figuur 92 geïllustreerd. Hierbij zijn de roze nodes de MQTT-Input nodes en de blauwe nodes de node-red-dashboard nodes.



Figuur 92: Subflow cycling desk 2

Het werken met een webserver in plaats van een Human Machine Interface (HMI) brengt meerdere voordelen met zich mee. Een van deze voordelen is dat de cycling desks onderling niet verbonden moeten worden, maar enkel met hetzelfde wifi-netwerk geconnecteerd zijn. Hierdoor kunnen de cycling desks over heel het gebouw verspreid worden maar is het nog steeds mogelijk de verschillende parameters van de andere cycling desk te bekijken.

Een tweede voordeel is dat het mogelijk is de visualisatie overal in het gebouw weer te geven en dus niet enkel lokaal op de cycling desks zelf. Zo kan er bij evenementen die veelal in de foyer doorgaan, op een groot scherm geproject worden met de hoeveelheid groene energie die de cycling desks hebben opgewekt. Ook kan er gebruik gemaakt worden van een centrale unit waarop de visualisatie getoond wordt. Hierdoor kunnen er evenementen, zoals races, georganiseerd worden.

Tot slot vergroot deze manier van werken de stand-alone tijd van de cycling desk enorm. Een nadeel hiervan is wel dat de gebruiker energie van zijn toestel moet gebruiken om de visualisatie te gebruiken. Het is dan ook geen verplichting maar een optie.

## 7 Kostencalculatie

Het budget voor het maken en ontwerpen van 4 cycling desks bedroeg 10000 euro. Om te evalueren of aan deze eis voldaan is, is er een kostencalculatie uitgevoerd. De kostencalculatie omvat alle kosten van het mechanische ontwerp, elektrische ontwerp, elektronische ontwerp als ook de visualisatie. In deze berekening wordt er geen rekening gehouden met de werkuren zowel voor het ontwerp als de vervaardiging van de assemblage. Deze kosten worden niet in rekening gebracht aangezien al het werk op de campus zelf uitgevoerd werd. In Tabel 11 is de kostencalculatie weergegeven.

Tabel 11: Kostencalculatie

Component	Prijs/st (inc. BTW)	Aantal	Totaal (euro)
Niveleringswielen	12,85	3	38,55
M10 stelvoeten	2,23	3	6,69
4 x 40 x 40 Profielen	13,22	10	132,2
2 x 40 x 40 Profielen	4,42	1,5	6,63
Nautilus R626 stoel assemblage	72,4	1	72,4
Teflon geleidingslat	0,8	8	6,4
Bouten M8	0,11	10	1,1
Moeten M8	0,03	4	0,12
Lasplaatjes	151,52	1	151,52
Multiplex 12mm	41,02	4	164,08
Kogelknop M10	1,73	1	1,73
BLDC generator	275,95	1	275,95
Crankarm	20	1	20
Ketting	21,99	2	43,98
Casette	34,95	1	34,95
Tandwiel	22,54	1	22,54
Trapaslager	9,99	1	9,99
Rolsnapper	0,94	12	11,28
Wipsluiting	1,5	2	3
Batterij ROY POW s1218	119,99	2	239,98
3f-bruggelijkrichter	18,21	1	18,21
USB aansluiting	15,79	1	15,79
Klein materiaal	40	1	40
ESP32 dev kit v1	11,19	1	11,19
Raspberry Pi Model 4 B	74,95	0,25	18,7375
ACS712-30	5,99	3	17,97
Stroomsensor ZMPT101D	8,13	1	8,13
Mosfet IRF520	1,25	3	3,75
Spanningsregelaar LM7805	0,54	1	0,54
Klein materiaal	20	1	20
<b>Totaal</b>			<b>1397,41</b>



Zoals weergegeven in Tabel 11 bedraagt de totale kost voor één cycling desk 1400 euro. Doordat de cycling desk modulair is opgebouwd uit identieke units, kan de prijs voor een module met 4 units eenvoudig berekend worden door de totale kost maal 4 te doen. De prijs voor een configuratie met 4 cycling desks zou in totaal 5600 euro bedragen. Dit ligt ruim onder het vooropgestelde budget van 10000 euro. Dit betekent ook dat met dit budget in totaal 7 cycling desk volledig vervaardigd kunnen worden. Hierdoor kan er geconcludeerd worden dat aan de budgetseis als ook aan de eis in verband met het kunnen plaatsen van 4-8 personen, voldaan is.

In de kostencalculatie wordt er echter geen rekening gehouden met de componenten die gesponsord waren. Zo zijn alle fietsonderdelen zoals de generator, ketting, crankarm en pedalen gesponsord door Accel Group. Wanneer deze kosten uit de calculatie gehaald worden, verlaagt de totaalprijs per cycling desk van 1400 naar 999.99 euro.

## 8 Conclusie

Het doel van deze masterproef is het ontwerpen en realiseren van een cycling desk. Hierbij zijn er verschillende aspecten onderzocht zoals het mechanisch ontwerp, elektrisch ontwerp, elektronisch ontwerp en visualisatie.

Het resultaat van het mechanisch ontwerp van de cycling desk is een functioneel prototype dat in staat is tot het efficiënt aandrijven van een generator met een mechanisch rendement van 96%. De modulaire opbouw in combinatie met het trendy maar functioneel design zorgt ervoor dat de cycling desk in meerdere configuraties opgebouwd kan worden. Dit maakt het mogelijk om 4-8 personen te laten zitten aan de cycling desk, afhankelijk van de opgestelde configuratie. Elk van de units is ergonomisch verantwoord en kan worden gebruikt door personen tussen de 1.59 en 1.96m doordat de positie van zowel het tafelblad als het zadel ingesteld kan worden. De mechanische componenten die gebruikt zijn in dit ontwerp zorgen voor een onderhoudsvrij en makkelijk te transporteren geheel dat vervaardigd kan worden binnen het vooropgestelde budget.

Het elektrische en elektronische ontwerp heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een vereenvoudigde functionele schakeling die dient als een proof of concept. Deze schakeling is in staat om de stroom- en spanningswaarden van het gegenereerde vermogen te monitoren en vervolgens via het MQTT-protocol naar het Node-RED-dashboard te verzenden. Dit maakt het mogelijk om real-time informatie te analyseren en te visualiseren. Bovendien is de schakeling uitgerust met een slaapfunctie, waardoor het stroomverbruik tot een minimum wordt beperkt wanneer de cycling desk niet in gebruik is. Dit zorgt voor een efficiënter gebruik van de batterij en bevordert de energiezuinigheid van het systeem.

Het gebruik van een webserver als visualisatie zorgt ervoor dat deze door middel van het scannen van een QR-code of het surfen naar een webadres, eenvoudig op een breed gamma van elektronische apparaten bereikt kan worden. De visualisatie is opgebouwd uit meerdere pagina's waardoor eenvoudig genavigeerd kan worden. Elk van deze pagina's laat de gebruiker toe informatie te verkrijgen over parameters zoals het opgewekt vermogen en afgelegde afstand van alle cycling desks aanwezig in het gebouw. Het gebruik van Node-Red als programmeeromgeving laat toe de visualisatie eenvoudig uit te breiden indien er in de toekomst nog cycling desks moesten bijkomen.

Ondanks de bekomen resultaten waren er doorheen het project toch een paar belemmeringen die ten koste gingen van de kwaliteit. Ten eerste verliep de samenwerking met de studenten die verantwoordelijk waren voor het elektrisch en elektronisch ontwerp niet zoals gepland. Dit resulteerde in een onvolledige bijdrage, waardoor extra werk moest worden herverdeeld. Bovendien waren er onverwachte wachttijden die geleidelijk langer werden, waardoor het hele project vertraging opliep. Daarnaast waren er ook extra wachttijden vanuit de werkplaats, hetgeen het behalen van de gestelde deadlines verder belemmerde.

Een ander probleem ontstond doordat de focus van het project, namelijk het mechanische ontwerp, verschoven werd naar het elektronische en elektrische ontwerp. Dit had een negatieve invloed op het resultaat en de kwaliteit van beide onderdelen.

Ondanks deze complicaties is er een volledig afgewerkt mechanisch ontwerp beschikbaar, dat analytisch is onderbouwd, ergonomisch verantwoord is en instelbaar door de gebruiker zelf. Om de toekomstige realisatie van de extra units mogelijk te maken, is er extra documentatie voorzien die het proces van het fysiek werkende model van begin tot eind beschrijft. Er is ook een vereenvoudigd elektronisch schema beschikbaar dat al is getest op een testopstelling om de werking ervan te waarborgen. Vanwege de eerdergenoemde omstandigheden kon het schema niet worden getest op de daadwerkelijke cycling desk.

Ondanks de aanwezigheid van een functionele elektronische schakeling, wordt de efficiëntie ervan beperkt tot slechts 46%. Dit heeft als gevolg dat het toepassen van deze schakeling in een cycling desk niet gunstig is. Een mogelijkheid tot verbetering van het rendement zou kunnen worden onderzocht door een gedetailleerde analyse uit te voeren op de verschillende elektronische componenten, waarbij indien mogelijk componenten worden vervangen door meer geschikte alternatieven. Daarnaast zou het onderzoek zich kunnen richten op de integratie van geavanceerde functies, zoals het automatisch reguleren van de weerstand op basis van de hartslag van de gebruiker of het instellen van gepersonaliseerde trainingsprogramma's.

## Referentielijst

- [1] 'https://www.pinterest.com/pin/charge-your-phone-with-a-bike-between-flights-at-amsterdam-airport--58757970113371276/' (geraadpleegd 10 oktober 2022).'
- [2] 'Bouw een fietsgenerator voor warmte en elektriciteit | LOW←TECH MAGAZINE'. <https://solar.lowtechmagazine.com/nl/2022/09/how-to-build-bike-generator.html> (geraadpleegd 15 oktober 2022).
- [3] 'Power Play: Advances in USB Type-C Power Solutions - ProQuest'. <https://www-proquest-com.kuleuven.e-bronnen.be/docview/2265702514?pq-origsite=primo> (geraadpleegd 12 oktober 2022).
- [4] 'WeWatt | Human Powered Bike Furniture, Pedal Table, Cycling Desk'. <https://wewatt.com/> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [5] 'Bouw een fietsgenerator voor warmte en elektriciteit | LOW←TECH MAGAZINE'. <https://solar.lowtechmagazine.com/nl/2022/09/how-to-build-bike-generator.html> (geraadpleegd 11 oktober 2022).
- [6] 'Les exerciser adaptable to an office chair' Geraadpleegd: 3 mei 2023. [Online]. Beschikbaar op: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072423888/publication/US11260266B2?q=pn%3DUS11260266B2>
- [7] 'Veelgestelde algemene vragen – Machinerichtlijn'. <https://machinerichtlijn.eu/kennis/introductie/> (geraadpleegd 4 december 2022).
- [8] 'douwes-2014-dynamische', Geraadpleegd: 10 oktober 2022. [Online]. Beschikbaar op: <https://docplayer.nl/25351825-Dynamische-werkplekken-effect-op-de-korte-termijn-taakpr.html>
- [9] Herbert Wittel, Dieter Jannasch, Joachim Sołbiek, en Christian Spura, *Roloff / Matek Machineonderdelen*, vol. 6. Boom uitgevers Amsterdam, 2021.
- [10] 'Planetary Gearbox Design | Heason Technology | Heason'. <https://www.heason.com/news-media/technical-blog-archive/planetary-gearbox-design> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [11] 'Lineaire geleidingen - Almotion lineaire geleidingen | Almotion'. <https://www.almotion.nl/c/lineaire-geleidingen/> (geraadpleegd 21 december 2022).
- [12] 'Standaard - Lineaire geleidingen'. <https://www.lineairegeleiding.nl/lineaire-geleiding-met-profielrail/standaard/> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [13] 'Lineaire technieken - SMO bv'. <https://www.smo.be/mk-technology/lineaire-technieken/#toggle-id-1> (geraadpleegd 21 december 2022).
- [14] 'Glijplaten'. <https://www.polyfluor.nl/assets/files/datasheet-glijplaten.pdf?fbclid=IwAR1Kwk23KwBjUK96l1R6lgaBr-nUrQGbacv6dXyOrlt-DJtBvWuASZ6U--4#:~:text=PTFE%20heeft%20de%20laagste%20wrijvingsco%C3%ABffici%C3%ABnt%20van%20alle%20kunststoffen%2C,%E2%80%9Cstick%20slip%E2%80%9D%20wat%20unie k%20is%20in%20de%20glijlager-techniek> (geraadpleegd 8 juni 2023).

- [15] 'Framemaat fiets opmeten'. <https://www.halfords.nl/framemaat-fiets-opmeten> (geraadpleegd 17 november 2022).
- [16] 'MyNBN - RO PdfMeta'. <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/RO/578953?l=E> (geraadpleegd 23 oktober 2022).
- [17] 'Fietsmaat - Ergonomie site'. <https://www.ergonomiesite.be/fietsmaat/> (geraadpleegd 7 november 2022).
- [18] 'Framemaat en fietsafstelling'. <https://www.wielersportinfo.nl/fietsafstelling.htm> (geraadpleegd 7 november 2022).
- [19] 'Fietsmaat - Ergonomie site'. <https://www.ergonomiesite.be/fietsmaat/> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [20] 'Standaardafmetingen binnendeuren: Overzicht, Tips & Prijzen | Tips&Tricks.be'. <https://www.tipstricks.be/standaardafmetingen-deur> (geraadpleegd 24 mei 2023).
- [21] 'How Much Electricity Can a Human Generate? - PedalPC'. <https://www.pedalpc.com/blog/how-much-electricity-can-human-generate/> (geraadpleegd 23 mei 2023).
- [22] J. Zhao en Y. Yu, 'Brushless DC Motor Fundamentals Brushless DC Motor Fundamentals Application Note', 2011. [Online]. Beschikbaar op: [www.MonolithicPower.com](http://www.MonolithicPower.com)
- [23] 'Three-phase Rectifiers - Technical Info - News - Green Power Co., Ltd.'. <https://www.gprectifier.com/news/three-phase-rectifiers-11417579.html> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [24] C. Tallner en S. Lannetoft, 'Batteries or supercapacitors as energy storage in HEVs?'
- [25] 'Encyclopedia of Electrochemical Power Sources - Google Boeken'. [https://books.google.be/books?id=TAi\\_QBsTz5UC&pg=PA407&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.be/books?id=TAi_QBsTz5UC&pg=PA407&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (geraadpleegd 23 oktober 2022).
- [26] 'Operation of Lead Acid Batteries | PVEducation'. <https://www.pveducation.org/pvc/drom/lead-acid-batteries/operation-of-lead-acid-batteries> (geraadpleegd 3 december 2022).
- [27] 'Sulfateren - Centurion Battery'. <https://centurionbattery.nl/kennisbank/sulfateren/> (geraadpleegd 3 december 2022).
- [28] 'How Are Lithium Iron Phosphate Batteries made?'. <https://rebelbatteries.com/blogs/lithium-iron-phosphate/how-are-lithium-iron-phosphate-batteries-made> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [29] 'VUO36-14NO8 Standard Rectifier Module', 2013.
- [30] 'RoyPow\_S1218\_User\_Manual'.
- [31] '12V Dubbele USB Autolader Socket Adapter:Qidoe QC3.0 & PD20W Auto USB Oplader met AAN/UIT-Schakelaar LED Halo voor 12V / 24V Auto,Camper,Boot,Motorhome,Motorbike : Amazon.nl: Elektronica'. <https://www.amazon.nl/USB-Uitgang-Qidoe-Volt-Aansluiting-Aanraakschakelaar-PD-Snellaadadapter/dp/B09ZHYHJ7B?th=1> (geraadpleegd 31 mei 2023).

- [32] 'LiFePO4 Voltage Chart (1 Cell, 12V, 24V, 48V)'. <https://cleversolarpower.com/lifepo4-voltage-chart/> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [33] 'DOIT Esp32 DevKit v1 Pin Mapping'.
- [34] 'How does Successive Approximation (SAR) ADC Work and Where is it best used?' <https://circuitdigest.com/article/how-does-successive-approximation-sar-adc-work-and-where-is-it-best-used> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [35] S. A. Alaa Eldeen Hamza Amin Babiker en N. Mustafa, 'The Common Use of Pulse Width Modulation "PWM" Technique in Power Electronics', Geraadpleegd: 7 juni 2023. [Online]. Beschikbaar op: <http://www.fuelsaver-mpg.com/what-is-a-pwm>
- [36] 'Arduino® UNO R3'.
- [37] 'Arduino - Reference'.
- [38] 'LM78XX Series Voltage Regulators General Description Connection Diagrams Metal Can Package TO-3 (K) Aluminum Bottom View Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK See NS Package Number KC02A Plastic Package TO-220 (T) Top View Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT See NS Package Number T03B', 2000, Geraadpleegd: 12 april 2023. [Online]. Beschikbaar op: [www.national.com](http://www.national.com)
- [39] M. Abul, 'BUCK CONVERTER', 2018.
- [40] 'What is a transistor and it types ? - AndProf'. <https://andprof.com/electronics/what-is-a-transistor-and-it-types/> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [41] 'Klassificatie van versterkers'. <https://cursus.radioclubleuven.be/cursus/sc/class.htm> (geraadpleegd 7 juni 2023).
- [42] J. Verstraten, 'MOSFET Dankzij hun uitzonderlijk lage AAN-weerstand zijn MOSFET's ideale onderdelen voor het schakelen van grote stromen. In dit artikel treft u een uitgebreide kennismaking met dit interessant onderdeel aan. Kennismaking met de MOSFET', 2020.
- [43] 'AOD4184A pdf, AOD4184A Description, AOD4184A Datasheet, AOD4184A view ::: ALLDATASHEET ': <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/485384/AOSMD/AOD4184A.html> (geraadpleegd 6 juni 2023).
- [44] 'Een gemeenschappelijke oplader: beter voor consumenten en het milieu | Nieuws | Europees Parlement'. <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/headlines/society/20211008STO14517/een-gemeenschappelijke-oplader-beter-voor-consumenten-en-het-milieu> (geraadpleegd 12 april 2023).
- [45] P. Battezzato -Applications Engineer, 'Wireless Battery Charging'.
- [46] 'ACS712 Current Sensor - Working Principle and Applications'. <https://www.elprocus.com/acs712-current-sensor-working-and-applications/> (geraadpleegd 12 april 2023).
- [47] 'ACS712 pdf, ACS712 Description, ACS712 Datasheet, ACS712 view ::: ALLDATASHEET ': <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/168326/ALLEGRO/ACS712.html> (geraadpleegd 31 mei 2023).

- [48] 'Measuring battery voltage using a microcontroller'.  
<https://microchip.my.site.com/s/article/Measuring-battery-voltage-using-a-microcontroller> ( geraadpleegd 6 juni 2023).
- [49] 'Rotary encoder basics and applications, Part 1: Optical encoders'.  
<https://www.analogictips.com/rotary-encoders-part-1-optical-encoders/> ( geraadpleegd 21 mei 2023).
- [50] 'ESP32 Sleep Modes & Power Consumption in Each Mode'.  
<https://deepbluembedded.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/> ( geraadpleegd 31 mei 2023).
- [51] 'Efficiency of Small Machine Elements'.  
[https://www.engineeringtoolbox.com/efficiency-small-machine-elements-d\\_2076.html](https://www.engineeringtoolbox.com/efficiency-small-machine-elements-d_2076.html) ( geraadpleegd 8 juni 2023).
- [52] 'Node-RED'. <https://nodered.org/> ( geraadpleegd 12 april 2023).
- [53] 'Wat is MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)?' <https://www.at-automation.nl/kennisbank/begrippen/mqtt/> ( geraadpleegd 12 april 2023).
- [54] 'How to secure MQTT broker – BytesofGigabytes'.  
<https://bytesofgigabytes.com/mqtt/how-to-secure-mqtt-broker/> ( geraadpleegd 22 mei 2023).

Table 2 — Dimensional requirements

Dimensions in millimetres

		Type Ax					Type A					Type B					Type C				
		Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range
a <sup>a</sup>	Seat height and sitting height <sup>z</sup>	yes	400	540	yes	160	yes	400	520	yes	130	yes	420	510	yes	100	yes	430	480	yes	80
b	Adjustable depth of the seat	yes	380	430	yes	70	yes	425	450	yes	70	yes	425	445	yes	50	yes	425	-	yes	-
	Fixed depth of the seat	no					no					no	425	485	no	fixed	no	425	-	yes	fixed
f	Adjustable height of lumbar support	yes	170	300	yes	Minimum 70 within the range	yes	170	300	yes	Minimum 70 within the range	yes	170	300	yes	Minimum 50 within the range	yes	170	300	yes	-
	Fixed height of lumbar support	no					no					no	170	300	no	-	no	170	300	no	-
q <sup>c</sup>	Maximum distance from the backrest to the front of the armrests	yes	-	200	no	-	yes	-	300	no	-	yes	-	350	no	-	yes	-	400	no	-

		Type Ax					Type A					Type B					Type C				
		Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range
r <sup>d</sup>	Hip breadth clearance when armrests are in widest position	no	480	-	yes	-	no	480	-	yes	-	no	460	-	yes	-	no	460	-	yes	-
z <sup>de</sup>	Adjustable clear distance between armrest pads	yes	410	510	yes	-	yes	410	510	yes	-	yes	460	510	yes	-	yes	460	510	yes	-
	Fixed clear distance between armrest pads	no					no					no	460	510	no	-	no	460	-	yes	-
p	Height of armrests adjustable	yes	200	290	yes	100	yes	200	290	yes	100	yes	225	250	yes	50	yes	200	250	yes	-
	Height of armrests not adjustable	no					no					no	225	275	no	-	no	200	250	no	-
d	Seat pad width	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-
c	Seat pad depth	no	380	-	yes	-	no	380	-	yes	-	no	380	-	yes	-	no	380	-	yes	-



		Type Ax					Type A					Type B					Type C				
		Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range
<i>h</i>	Backrest height	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-
<i>j</i>	Backrest width	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-	no	360	-	yes	-
<i>k</i>	Radius of backrest	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-	no	400	-	yes	-
<i>n</i>	Armrest length	no	150	-	yes	-	no	150	-	yes	-	no	150	-	yes	-	no	150	-	yes	-
<i>o</i>	Armrest width	no	50	-	yes	-	no	50	-	yes	-	no	40	-	yes	-	no	40	-	yes	-
<i>s</i>	Offset of the underframe	yes	-	415	no	-	yes	-	415	no	-	yes	-	415	no	-	yes	-	415	no	-

a For tall office work chairs the seat height is determined as the vertical distance measured at the front of the seat, from the loaded seat to the floor or top of the foot support. The foot support shall have a minimum diameter of 20 mm or be flat.

b For type Ax only, the range can be achieved e.g. by using a telescopic gas cylinder or by providing more than one gas cylinder

x Sitting height is only applicable for chairs with seat pad angles less than 0° (rearwards slope).

c The distance q shall be measured when the minimum usable armrest area template, 150 mm x 50 mm (Type Ax and Type A) or 150 mm x 40 mm (Type B and Type C), are parallel to the median plane (see 3.9) of the seat.

d The gap shall be retained across the height adjustment range of the armrests for functional fit.

e The clear distance 'z' shall be measured when the minimum usable armrest area templates, 150 mm x 50 mm (Type Ax and Type A) or 150 mm x 40 mm (Type B and Type C), are parallel to the median plane of the seat.

**Table 3 — Angle requirements**

		Dimensions in degrees																			
		Type Ax					Type A					Type B					Type C				
		Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range	Allow (-)	min	max	Allow (+)	Minimum range
<i>y<sup>a</sup></i>	Angle between seat and back	no	90	-	yes	-	no	90	-	yes	-	no	90	-	yes	-	no	90	-	yes	-
<i>l</i>	Backrest inclination range	Minimum 15 degrees					Minimum 15 degrees					Minimum 15 degrees									
<i>e<sup>b</sup></i>	Seat pad angle adjustable	yes	0	-	Yes	-	yes	0	-	Yes	-	yes	-2	-	Yes	-	no	-2	-	Yes	-
	Minimum adjustment range	5					5					5					5				
	Seat pad angle fixed	no					no					no	+2	-5	no	-	no	+2	-7	no	-

a As long as it is possible to achieve an angle of minimum 90° between seat pad and backrest, the requirement is fulfilled.

b The adjustment range shall include the specified seat pad angle.

Bijlage B

Morfologisch overzicht				
Aandrijving				
Uitlijning				
Bevestiging				
Overbrenging				
Koppeling met generator				
Werkblad verstellen				
Uitlijning				
Bevestiging				
Vergrendeling				
Geleiding				
Stoel verstellen				
Vergrendeling				
Geleiding				
Uitlijning				
Bevestiging				