

PROJECTWERK

OPLEIDING: GRADUAAT ELEKTROMECHANICA

**Automatische luchzuiveraar
met alarm.**

PROJECTBEGELEIDER HOGENT: TONY SIX

CURSIST:

ACADEMIEJAAR: 2019-2020

1 Inleiding

1.1 Dankwoord

Dit eindwerk is een voorstelling en een cummulatie van alles wat ik geleerd heb tijdens mijn jaren op de avondschool Panta Rhein, de kennis en visie vergaart gedurende die tijd. Hier wil ik even de tijd nemen om iedere leerkraacht te bedanken van de school alsook de mensen van het onthaal, met name: Paul Vander Heagen en Hugo van het vak elektrische machines. Patricia Van Melckebeke voor een beter inzicht te geven op het elektronische aspect van de opleiding. Frank Gijzelen voor het inzicht in het gebruik van wiskunde en het ontleden van vragen tot wiskundige opgaven. De begeleider van dit eindwerk Tony Six voor het opvolgen van het eindwerk, voor de lessen mechanica, maar zeker voor het engelengeduld en het medeleven, alsook het steeds bereikbaar zijn om mee te helpen en inzicht te geven.

Ook Jan Smidt van het AKOV om mij de kans te geven om mijn passie te achtervolgen en Ludo Vanhessche om het mij zo zwaar te maken bij herhaaldelijke herkansingen. Alsook alle leerkrachten die hen voorgingen tijdens mijn jaren op Edugo en de Hogent.

Mijn familie, zoals mijn vader, die me out of the box heeft denken, de beschikbare middelen te leren toepassen en toewenden om tot oplossingen te komen. Mijn Opa, ma en nonkel om hun liefde voor kennis en correctheid en Laurent van Steen om nog eens te steunen gedurende de studies.

1.2 Voorwoord

Dit eindwerk dient om mezelf te testen naar het mogelijks uitvinden van een milieu minder belastende duurzame oplossing voor huisstof te verminderen. Het zou leiden tot een vermindering in het huishouden en bijdragen tot het slimme huis van de toekomst.

Enkele hypothese zijn voor handen zoals de volgende; het middel om de stof te vangen is water; water blijft een toegankelijk goed en aan een lage kostprijs. Indien nodig zou een zoutwaterleiding kunnen gebruikt worden, die zoutwater van de Noordzee oppompt en beschikbaar gesteld wordt door de watermaatschappij. Hierdoor kunnen alle huishoudelijke reinigingen zoals toilet, douche, was, ... gedaan worden met zoutwater/afvalwater (licht vervuild).

Alsook zou er een goedkope vorm van energie en/of overschotten aan deze energie die opgewekt wordt door de verscheidene documenten ter beschikking zijn.

1.3 Inhoudstafel

1	Inleiding.....	2
1.1	Dankwoord	2
1.2	Voorwoord	3
1.3	Inhoudstafel.....	4
1.4	Samenvatting	7
1.5	Abstract.....	8
1.6	Lijst van tabellen	9
1.7	Lijst van Figuren.....	10
1.8	Lijst van afkortingen en symbolen	11
2	Voorbereiding onderzoek.....	12
2.1	Verkennend onderzoek	12
2.1.1	Mechanisch.....	12
2.1.2	PLC, programmatie, elektrisch.....	15
2.2	Probleemstelling	18
2.3	Onderzoeks methode en aanpak.....	18
2.3.1	Empirisch onderzoek,.....	18
2.3.2	Trial and error.....	18
3	Literatuurstudie	19
3.1	HEPA-filter.....	19
3.2	Eigenschappen van stof	21
3.3	Basisbegrippen druk en luchtverplaatsing.....	22
3.4	Arbeid, vermogen.....	23
3.5	Ventilatoren, luchtdebit, werkpunt installatie.....	24
3.5.1	Luchtdebit.....	24
3.5.2	Werkpunt installatie	25
3.5.3	Ventilatorwetten.....	25
3.6	Reynoldsgetal en viscositeit	26
3.7	Arduino	27
3.7.1	Wat is een arduino.....	27

3.7.2	Programmatie: C++, Arduino IDE	29
3.8	Communicatie tussen IC's	30
3.9	Rapid proto-typing, 3D-printing, CAD	32
4	Eerste ontwerp	35
4.1	Visualisatie en principe	35
4.1.1	Inertie	35
4.1.2	Diffusie	37
4.1.3	Inslag	38
4.1.4	Meertraps-filtratie	39
4.2	Printbare 3D componenten	40
4.2.1	De Cycloon	40
4.2.2	De Statische mixer	42
4.2.3	De Separator	44
4.2.4	Sproeibollen, behuizing voor PWM-modulatie, dichtingsring	49
4.3	Onderdelen te bestellen of uit oude elektrische toestellen	51
4.3.1	De buizenventilator	51
4.3.2	Buizen, leidingen, behuizingen en kleppen	54
5	Elektrisch ontwerp en programmatie	55
5.1.1	Het draadschema van de PLC en Sensoren	55
5.1.2	De programmatie van de PLC	56
5.1.3	De beleggingslijst van de PLC	57
5.1.4	Libraries	58
6	Prototype	59
6.1	Onderdelenlijst en kost van het eerste ontwerp	59
6.2	Voorbereidende Bewerkingen in de werkplaats	62
6.2.1	De haardroger	62
6.2.2	De Ikea dozen	62
6.2.3	De aanvoerslangen van de cycloonfilter	62
6.2.4	Solderen en elektrische componenten uitmeten	62
6.2.5	Printen	63
6.3	Assemblage	64

6.3.1	Meten van benodigde lengtes	64
6.3.2	Instructie.....	64
7	Experiment met pleister & bouwstof.....	66
7.1	Testopstelling.....	66
7.2	Eigenschappen luchtzuiveraar	67
7.2.1	Stuwkracht Ventilator	67
7.2.2	Verbruik ventilator en sturing.....	68
7.2.3	Geluidsmeting	68
7.3	Waarden droge meting test-opstelling.....	69
7.4	Test 1.....	70
7.4.1	Resultaten Test 1	70
7.4.2	Bevindingen Test 1	71
7.4.3	Stofmetingen ruimte.....	71
8	Besluit.....	73
9	Bibliografie	74
10	Bijlagen.....	76
10.1	Volledig programma (V2.2)	76
10.2	Elektrisch schema	83

1.4 Samenvatting

Zie powerpoint.

1.5 Abstract

Aangezien de energie-neutrale woningen een vereiste zijn voor de huidige wetgeving, kan het interessant zijn; alreeds ecologische neutrale systemen te gaan voorzien in de woning en deze automatiseren.

De ecologische woning heeft een zo laag mogelijke voetafdruk hierbij streeft men naar zuivering doormiddel van hernieuwbare bronnen. Deze zullen ook aanbod komen in de vergelijking die gemaakt wordt bij de keuze van hoe de luchtfiltratie uitgevoerd kan worden. Het "smart" home systeem moet erin voorzien dat allee parameters en meting bewaakt worden zoals in een productieprocess, waarbij het gerealiseerd product bewaakt wordt door de meet- en regeltoestellen. Elk huis wordt een producent van goederen en diensten, in een steeds groeiend gedecentraliseerd netwerk van energie-uitwisseling, product uitwisseling, luchtuitwisseling, voedseluitwisseling.

Hier in dit eindwerk leg ik voornamelijk mijn focus op het elimineren van koolstoffilters, hepa filters, ... die niet herbruikbaar zijn en afvalopstapeling veroorzaken. De toepassing zal huishoudelijk worden uitgewerkt omdat dit een aanvaardbare schaal is voor proefondervindelijk onderzoek. Er zullen verschillende casus worden gegeneerd. De maatstaf waaraan deze met elkaar vergeleken worden is: energieverbruik, alsook uitvoerbaarheid op grote schaal bij veel woningen, met beperkte middelen, resultaat luchtfiltratie.

Energieverbruik zal berekend worden in kWh per 75% gefilterde lucht.

Luchtfiltratie zal proefondervindelijk opgesteld worden met metingen aan de hand van de beschikbare meettoestellen. Deze zullen ook geïmplementeerd worden in het automatisatie gedeelte van de het systeem voor de bewaking van stoffdeeltjes in de woning.

Uitvoerbaarheid, er wordt enkel gebruik gemaakt van componenten die verkrijgbaar zijn onder een bepaalde prijs en componenten die kunnen worden uitgeprint door een 3D printer. Dit om de uitvoerbaarheid op grote schaal te kunnen garanderen mits het karakter van een open source licentie zal worden aangewend voor het apparaat en de home automatisatie.

De sturing zal vrij eenvoudig zijn, enkele ingangen en uitgangen die bewaakt worden door een PLC. De kostprijs van deze PLC en de eenvoudigheid van programmatie alsook de nodige modules zullen dienen voor de keuze van beschikbare borden, PLC's, ...

1.6 Lijst van tabellen

Table 1.....	20
Table 2.....	57
Table 3.....	58
Table 4.....	59
Table 5.....	68
Table 6.....	69
Table 7.....	70
Table 8.....	71

1.7 Lijst van Figuren

Figuur 1	12
Figuur 2	14
Figuur 3	14
Figuur 4	19
Figuur 5	24
Figuur 6	25
Figuur 7	25
Figuur 8	30
Figuur 9	36
Figuur 10	38
Figuur 11	39
Figuur 12	40
Figuur 13	41
Figuur 14	41
Figuur 15	42
Figuur 16	43
Figuur 17	43
Figuur 18	43
Figuur 19	44
Figuur 20	45
Figuur 21	46
Figuur 22	47
Figuur 23	49
Figuur 24	49
Figuur 25	50
Figuur 26	50
Figuur 27	52
Figuur 28	52
Figuur 29	53
Figuur 30	65
Figuur 31	66
Figuur 32	68
Figuur 33	71

1.8 Lijst van afkortingen en symbolen

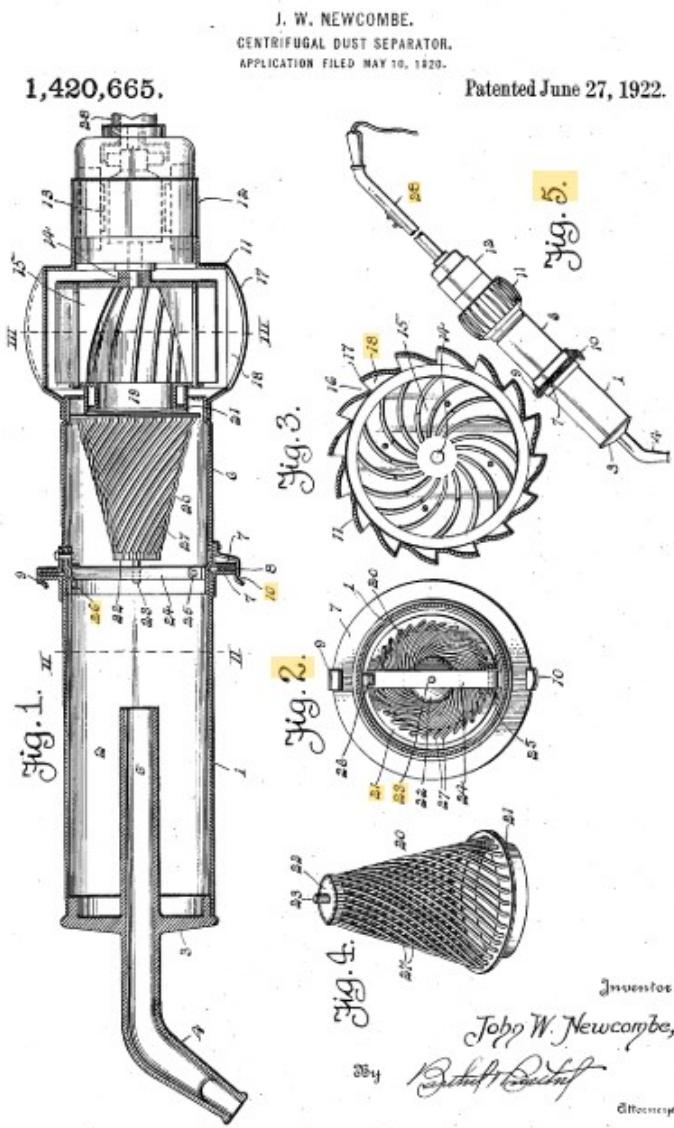
I ² C	Inter IC-(bus)
GPIO	General Purpose input output
UART	universal asynchronous receiver-transmitter
Mhz	Mega Hertz
V	Volt
IC	Integrated circuit
HEPA	High Efficiency Particulate Air
PLC	Programmable logic unit
VI	Vloeistof
Tot	Totaal
Atm	Atmosfeer
I/O	Inputs / outputs
SDA	Serial data
SCL	Serial clock
ACK	Acknowledge
LDR	Light dependent resistor

2 Voorbereiding onderzoek

2.1 Verkennend onderzoek

2.1.1 Mechanisch

Het apparaat/concept is gebaseerd op een ontwerp dat al gebruikt wordt in stofzuigers enkele voorbeelden van deze zijn de Rainbow en de hydra. Deze claimen een luchtreiniging van 99,9% te garanderen op hun



Figuur 1

Het patent beschrijft hoe deze toestellen werken. Het dateert van 1920, uitgebracht door John W. Newcombe. Hij noemde zijn uitvinding de "Newcombe Separator". Er zijn elementen aan het ontwerp die opvallen, ze kunnen mogelijks als beginselen dienen voor de luchtzuiveraar. Het werkingsprincipe van de separator wordt verder onderzocht.

Een passage uit dit:

"Patent US1420665A

CENTRIFUGAL DUST SEPARATOR. APPLICATION FILED MAY 10, 1920.

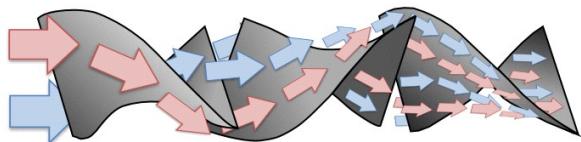
Patented June 27, 1922."

"A. conical separator member formed of a plurality of longitudinally and spirally extending wires, provides an extended perforate surface through which the air passes freely and at the same time presents an extended surface into contact with which the dust particles come as the air passes through the member. The rapid rotation of the conical member insures the contact of the wires with every particle of dust carried by the air. before such particle can pass between the wires and when such particle comes in contact with a wire, it is deflected or is set into rapid rotation and is either thrown off laterally at once by centrifugal force or deflection or passes longitudinally along the wire toward the enlarged upper end or head 21 where it will be, caught by the head and then thrown off laterally by centrifugal force. The spiral direction of the wires assists in the travel of the dust particles along these wires toward the large end of the cone where the centrifugal force is greatest."

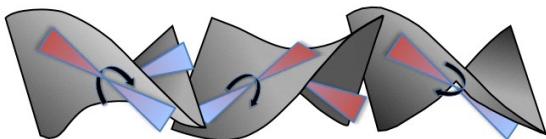
De toegevoerde lucht is licht vervuild. Als we ervan uitgaan dat in huis maar lichte vervuiling en stofwaarden te meten zijn. Op termijn kan er aanslag komen op de rotoren. Dit zijn de stofdeeltjes die ergens landen op de oppervlakte van de rotor of motor. Het lijkt me dat de standtijd van de rotor hierdoor niet in gedrang komt. Een aanzuigmotor gebruiken achter de separator is dus niet nodig. Met een ventilator aan de perszijde heeft als voordeel meer stuwwerking te leveren. Dit aangezien lucht in het waterreservoir lucht wordt geblazen die voor de reiniging zorgt. Een Vacuüm genereren verbruikt veel meer energie.

Een statisch mixer kan gebruikt worden om de lucht te mengen met waternevel en botsingen te veroorzaken. Het ontwerp van een statische mixer kan verschillende vormen hebben. Om de beste menging te veroorzaken zijn er verschillende programma's waarbij stromingen kunnen gesimuleerd worden zoals solidworks, stromingsleer is een volledig vak in de ingenieurswetenschappen. Mijn onderzoek kan verder uitgebreid worden als ik verder studeer aan de Hogent, maar het lijkt me niet mogelijk dat ideaal voor te stellen omdat het fluidum en de lucht steeds een andere samenstelling heeft naargelang er meer of minder stofdeeltjes zich in het water bevinden en ook omdat de focus daar niet op ligt in deze scriptie.

Op dit moment wens ik het merendeel van componenten via 3D printen ter beschikking te stellen.



Flow Division



Radial Mixing

Figuur 2



Figuur 3

Water wordt toegevoegd door een kleine openingen in de aanvoerbuis, het venturi-effect en de statische druk van het water in het reservoir zullen een straal genereren waardoor de lucht passeert. De kleinere stofdeeltjes worden zo gevangen in een waternevel-net.

2.1.2 PLC, programmatie, elektrisch

Bij het zoeken naar goedkope oplossingen voor een testopstelling, heb ik een Arduino UNO of Arduino MEGA als potentiële kandidaten opgesteld. Er is veel informatie over te vinden op het internet. Voorbeelden van programmatie zijn op verschillende sites en platformen ter beschikking, hierdoor lijkt dit een gebruiksvriendelijk platform. Nog een voordeel is de grote community, waar ik met mijn vragen terecht kan.

Een Siemens LOGO PLC of een Eaton easy zijn ook opties. De programmatie kan makkelijker zijn, want de LOGOsoft is tijdens onze opleiding aan bod gekomen. Een minpuntje is dat er minder openlijk informatie over te vinden is, er zijn niet veel (geen) voorbeelden van software die vrij te kopiëren zijn. De functies van deze PLC's kunnen beperkter zijn, ze zijn namelijk enkel in ladderdiagram of functieblokken te programmeren. Ze werken op een andere spanning, namelijk 12v, 24v, 230v. Sensoren van 5V voor Arduino zijn goedkoop te verkrijgen, gelijkaardige varianten op 24v of 12v zijn duurder en minder makkelijk verkrijgbaar.

De Raspberry Pi was ook een mogelijkheid maar het leek me eenvoudiger met een Arduino te werken. Het is mogelijk om een programma binnen een besturingssysteem te doen draaien, maar momenteel heb ik enkel basis programmeerkennis. De leercurve zou hier een stuk steiler verlopen. Dit onderzoek is beperkt in tijd, de tijd die nodig is om die kennis te verwerven en functioneel toe te passen is meer dan een jaar. De Raspberry Pi Heeft net zoals de Arduino GPIO pinnen kunnen gebruikt worden maar de arduino is beter ontworpen om deze te gebruiken. Er kan dus ook een digitaal signaal van een 5v sensor ontvangen worden door de Raspberry Pi. Dit kan ook digitaal uitgestuurd worden van zo een GPIO pin. Deze kunnen dan een 5V relais/thyristor/transistor aansturen, zo kan een geluidstoorn of lichten op een ander spanningsniveau gestuurd worden.

De Arduino sensoren zijn meestal voorzien van proefprogramma's, libraries of stukken code. Deze zijn te vinden in de Wiki's van desbetreffende fabrikanten. Sommige Sensoren zijn analoog en digitaal verkrijgbaar, afhankelijk van wat voor sturing gewenst is. Anderen maken gebruik van data transfer protocollen. Meeste sensoren kunnen ook gebruikt worden op andere PLC's zolang de stuurspanning hetzelfde is. Voor data hoeven ze dan het I2C protocol ondersteunen of seriële communicatie via het universal asynchronous receiver-transmitter (UART met Rx Tx). Bij seriële communicatie moeten enkele variabelen in het programma worden geïmplementeerd, zoals de juiste pariteit bit, KB/s (baudrate), ... Dit om twee verschillende IC's aan dezelfde snelheid de informatie te laten versturen en ontvangen.

TinkerCAD of Circuit.io heeft een circuitboard bouwer. Hier kan ik het circuitboard op samenstellen van de Arduino. Het laat ook toe het programma te simuleren in een virtuele 2D wereld.

Het ontwerpen van simpele designs gaat daarmee heel vlot. Door gebruik te maken van verschillende 3D basismodellen zoals; kubussen, piramides, torus, ... Door deze afmetingen te veranderen en aan elkaar toe te voegen, bouwt men een 3D model op. Meeste elektronica componenten bestaan enkel uit een printplaat zonder omhulsel. Uit veiligheidsoverwegingen om kortsluitingen te voorkomen, lijkt het me best een behuizing hiervoor te ontwerpen. Deze simpele tool laat toe, dit in een korte termijn te doen. Hierna kan deze in PLA of een ander 3D printmateriaal worden afgeprint.

Bij het openen van een brandalarm, waarbij een 433mhz RxTx-module verbinding maakt met een basisstation. Ontdekte ik 2 AA batterijen van 1,5V, op zoek naar hoe het brandsignaal ergens kon afgetapt worden. Zo kan het brandalarm in het ontwerp verwerkt worden. Er wordt gebruik gemaakt van een 3-punts piëzo component als geluidsignaal. Mocht men hierover een optocoupler plaatsen, levert dit signaal voldoende vermogen om een digitaal hoog op te leveren aan de Arduino zijde? Een piëzo wordt aangestuurd met een hoogfrequent pulserend signaal. Hoeveel volt dit signaal is, kan nagedragen worden.

Een andere mogelijkheid is; het thuisstation in te stellen en het brandalarm te laten verbinden. Ondertussen kan men een 433mhz module aansluiten op een Arduino, deze inladen met een "sniffer" programma of iets dat het opgevangen 433Mhz signaal kan verwerken. Een audio opname van dit signaal kan een zichtbaar bloksignaal opleveren in Audacity.

Nu is de communicatie tussen brandalarm en thuisstation beschikbaar. Bij het forceren van een rookalarm stuurt het brandalarm signaal uit, dit ik kan met dezelfde opstelling ontvangen worden. Dit signaal kan dan opgeslagen worden in de logische eenheid als een variabele, indien dit signaal terug voorkomt dan kan de logische eenheid het brandalarm/programma inschakelen. Er zweeft heel wat data in de lucht via 433Mhz. We wensen geen vals signaal op te vangen, anders kan het mogelijk zijn het brandalarm/programma in de logische eenheid te starten, bij het draadloos openen van een auto met de autosleutels. Bij de aankoop van de logische unit, wordt ook een 433Mhz ontvanger aangeschaft om dit verder te onderzoeken.

Er moet worden uitgezocht, of de rookmelder in continue verbinding staat met het basisstation. Om uit te sluiten dat het geregistreerde signaal verandert, er kan bijvoorbeeld een vervaldatum zitten op de beveiligingssleutel. Als dit aanwezig is, zorgt deze voor een beveiligde communicatie tussen het basisstation en het brandalarm.

De keuze om draadloze communicatie in het ontwerp te verwerken, is afhankelijk van het bereik van de 433Mhz communicatie-eenheid. Een langere antenne kan mogelijks het ontvangstbereik vergroten. In grotere huizen kan een te klein bereik voor problemen zorgen.

Mocht er toch geopteerd worden voor een draadverbinding, zal nog moeten nagegetest worden welke optocoupler nodig is. Zo kan men een galvanische scheiding creëren tussen de 5V PLC en de 3V printplaat van het brandalarm. Er zijn niet veel optocouplers beschikbaar met een lagere minimum werk spanning dan 3,3V. Er kan gekozen worden voor een andere rookmelder, die op een andere spanning functioneert. Anders moet er een normale transistor worden gebruikt in plaats van een optocoupler.

Ondertussen de FOD053L-D, bij Onsemi conductors gevonden. Het werkgebied ligt tussen 1 en 1,9 volt. Nu meten wat de uitgangsspanning is, want bij afstanden groter dan 10m kan er een spanningsval optreden. Misschien is de 5 volt stuurspanning van de PLC niet voldoende, om afstanden in een huis te overbruggen. Er kunnen harmonische frequenties voorkomen. Verschillende draadloze communicaties in en om het huis veroorzaken dit. Het signaal kan afwijken, als het over langere afstanden, meer van dit geruis (harmonische frequenties) ontvangt. Oplossingen hiervoor zijn kabels met daarin een ijzermantel. UTP Cat6 is hiervan voorzien. Een TCP/IP module om data te verzenden behoort ook tot de mogelijkheden, deze compenseert automatisch dataverlies. Nog een optie is; het plaatsen van een 3V relais, op de branddetector. Deze kan dan bijvoorbeeld 24V volt schakelen, om digitale signalen te versturen op langere afstanden.

2.2 Probleemstelling

Een vervanging voor een HEPA-filter van stof of een kunststof. Die andere technieken toepassen voor filtratie, maar automatisch stuurbare zijn en die geen afval achterlaten en duurzaam in te zetten zijn.

De uitwerking van een automatisch systeem die detecteert hoeveel energie er besteed hoeft te worden aan de luchtfiltratie, om optimaal zuivere lucht te leveren.

2.3 Onderzoeks methode en aanpak

2.3.1 *Empirisch onderzoek,*

Mogelijkse oplossingen testen en staven aan al gekende en bekritiseerde onderzoeken, die te weerleggen zijn via de theoretische modellen en daarop bouwen

Onderzoek om door systematische observatie en/of meting samenhangen tussen verschijnselen te ontdekken of te toetsen. Een belangrijke subcategorie is experimenteel onderzoek.

Gevonden op <https://www.cultureelwoordenboek.nl/psychologie-en-sociologie/empirisch-onderzoek>

2.3.2 *Trial and error*

Het herhaaldelijk herbekijken van uitvoeringen van het model en de programmatie. Dit kan deels door simulatie, maar ook in praktijk. De componenten zijn goedkope test platformen die ingezet kunnen worden bij de "proof of concept" en meetresultaten kunnen worden vergeleken om effectiviteit te bepalen.

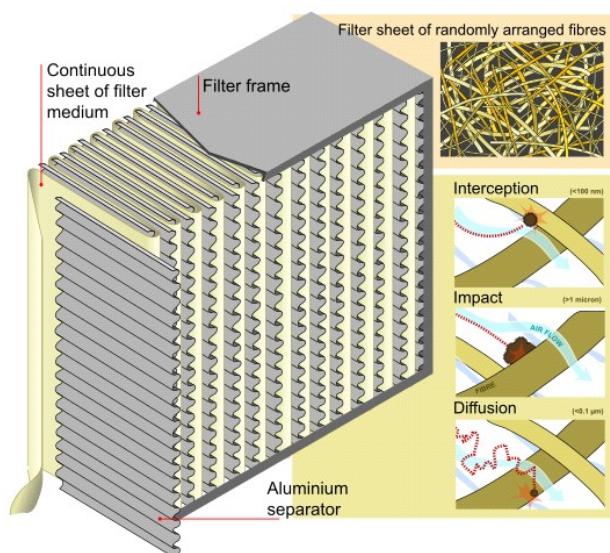
3 Literatuurstudie

3.1 HEPA-filter

Een HEPA filter is een klassering voor de filtratie van de lucht, staat gespecificeerd in de Europese Norm 1822:2009.

HEPA is de afkorting voor "High Efficiency Particulate Air" die tussen minimaal 85% en maximaal 99,999995% van alle stofdeeltjes van 0,3 micrometer tegenhouden en dus ook grotere stofdeeltjes, maar ook kleinere.

Een Filter werkt op 3 specifieke technieken; Diffusie (Diffusion), Inertie (Interception), Inslag (impact).



Figuur 4

Diffusie zal ervoor zorgen dat stofdeeltjes kleiner dan $0,3\mu\text{m}$ gevangen worden door de turbulentie, dit zorgt ervoor dat de deeltjes afdwalen en op een van de vezels landen.

Inertie zal ervoor zorgen dat de grotere deeltjes die te zwaar zijn om de luchtstroom te volgen door de zwaartekracht of door de 2de wet van newton, een voorwerp in beweging hoeft een externe kracht om deze rechtlijnig beweging aan te passen van richting, de krach van de luchtstroom niet sterk genoeg is of de massa van het stofdeeltje te hoog zal dit stofdeeltje afwijken van de luchtstromen gevangen worden door een van de vezels

Inslag zal een stofdeeltje, die te groot is om door diffusie of te klein om door inertie te vangen, ervoor zorgen dat bij het inslaan het stofdeeltje verpulverd tot kleinere stofdeeltjes die dan wel door inertie gevangen worden.

Een HEPA-filter is gespecificeerd in [Europese Norm](#) 1822:2009 van de [Europese Unie](#).
Hierin staan verschillende klassen van HEPA-filters:

Table 1

HEPA-klasse	Retentie (totaal)	Retentie (plaatselijk)
E10	> 85%	---
E11	> 95%	---
E12	> 99,5%	---
H13	> 99,95%	> 99,75%
H14	> 99,995%	> 99,975%
U15	> 99,9995%	> 99,9975%
U16	> 99,99995%	> 99,99975%
U17	> 99,999995%	> 99,9999%

3.2 Eigenschappen van stof

Het woordenboek definieert stof als; kleine deeltjes of een chemische groepering van een soort materiaal.

Voor dit onderzoek gaan we niet in op de chemische samenstelling van stof, dit zou te tijdrovend zijn. Er zijn veel variabelen die afhangen van locatie en omgeving. In dit onderzoek is het de bedoeling stofdeeltjes van alle klasse en element te vangen, en zodoende de lucht te zuiveren. Momenteel behoud zicht het tot de fysische eigenschappen van de stofdeeltjes. De gemiddelde soortgelijke massa zal te pas komen en de afmetingen of volume.

Er zal een grote deviatie zitten tussen stofdeeltjes die voorkomen in de ruimte.

Mochten berekeningen nodig zijn om iets te staven, dan gaan we ervan uit dat het voornamelijk huiselijk stof is. Bestaande uit hout, steen, huid, plastics, voedsel... al deze composieten hebben in hun eigen klasse ook nog eens een zeer variërende soortgelijke massa. Voor de testen zou het best zijn elk van deze stoffen apart te vergelijken met elkaar. Zo kan de HEPA-graad van de luchtuiveraar verschillen bij verschillende stoffen, hieruit kan dan een gemiddelde genomen worden. Bij de EN-norm staat de samenstelling van de deeltjes niet duidelijk vermeld.

Er zijn al meerdere onderzoeken gedaan naar waaruit huisstof bestaat, de enige conclusie die ik hier merkwaardig aan kan meenemen is dat huisstof een zeer heterogene samenstelling heeft. Hierdoor voel ik me verplicht te beperken tot de afmetingen van de stofdeeltjes. Wel ga ik er van uit dat de stofdeeltjes heel klein zijn, het gewicht zal dan in de grootorde Nano Gram zijn. Er is dan maar een heel kleine kracht nodig om de deeltjes van richting en snelheid te veranderen.

De inwerking van de zwaartekracht is zo minimaal, dat de wrijvingskracht met de luchtdeeltjes waartussen de stofdeeltjes zich bevinden elkaar bijna opheffen. Elke beweging of luchtverplaatsing in de ruimte, zal neerdwarrelende stofdeeltjes voor een geruime tijd zeer impactvol aanpassen.

Stofdeeltjes raken verstengeld in elkaar door de onwillekeurige vormen waaruit ze bestaan. Wrijvingskracht en coulombkracht houden ze bij elkaar, mocht er energie toegevoegd worden in het "gesloten" systeem, door menselijke verplaatsing of verwarming, ...

Uiteindelijk zouden alle stofdeeltjes moeten neerslaan mocht er geen energie meer aan de ruimte geïntroduceerd worden. Omgekeerd klopt ook als er meer energie wordt toegevoegd; aangezien dit meer kans heeft op botsingen en versmeltingen van kleinere stofdeeltjes, tot een grotere cluster van stofdeeltes.

3.3 Basisbegrippen druk en luchtverplaatsing.

De grootheid druk,

Druk is een hoeveelheid kracht die uitgeoefend wordt op een bepaald oppervlakte.

$$P = F/A$$

Hier op aarde zitten we in een gesloten systeem, volgens de nulde hoofdwet van de thermodynamica: als een systeem A en C in evenwicht is, en C en B in evenwicht dan is ook A en B in evenwicht. Dus analoog kunnen we hieruit afleiden dat de drukzones van verschillende gebieden in evenwicht staan met elkaar.

Passen we de gaswet toe op de lucht van de aarde en bekijken we de verschillende regio's als in evenwicht staande systemen in een geheel. De gaswet voor 2 systemen (regio's) in evenwicht:

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2$$

Als de temperatuur stijgt in de eerste regio, zal dit een effect hebben op de grootheden druk en of volume van de eigen regio of andere regio. Stel nu dat de luchtdruk gelijk blijft maar het volume stijgt, hierdoor verandert het volume van de rond omliggende regio's. Deze uitzetting van de lucht, en vermindering in luchtdichtheid bij een drukzone/regio, zorgt voor de luchtverplaatsingen, deels door het veranderen in volume en deels door convectie.

Het begrip convectie kan worden uitgelegd doordat vloeibare stoffen en gassen drijven op elkaar naargelang hun massadichtheid. Waarbij een verwarmt huis lucht uit het huis zal duwen richting de atmosfeer aangezien de luchtdichtheid van die lucht gedaald is bij het verwarmen. Het principe van aan luchtballon maakt ook gebruik van een temperatuurstijging om te stijgen of te dalen in de lucht door de luchtdichtheid aan te passen, en dus de drijvende eigenschappen van de lucht die zich in de ballon vindt.

3.4 Arbeid, vermogen

De definitie van arbeid; is het scalair product van een kracht F en een weglengte Δs , waarover de kracht wordt uitgeoefend.

$$W = F \cdot \Delta s$$

W = de arbeid die het systeem levert aan zijn omgeving [J]

F = de kracht die de omgeving uitoefent op het systeem [N]

Δs = de afstand van de verplaatsing van het systeem ten gevolge van de kracht F

Deze formule kan herleid worden naar een die vanuit volume en druk de arbeid vormt.

$$W = F \cdot \Delta s$$

$$W = F/A \cdot A \cdot \Delta s$$

$$W = P \cdot A \cdot \Delta s$$

$$W = P \cdot V$$

De arbeid W is een afgeleide van het vermogen P die arbeid per tijdsinterval voorstelt.

$$P = W/t$$

Het vermogen is ook een grootheid die toegepast wordt in de elektrische toestellen. Dus een motor die een schoep aandrijft zal een bepaald vermogen moeten kunnen leveren om een bepaalde druk en volumewijziging te veroorzaken.

Rendement n toont aan hoeveel van het vermogen nuttige arbeid verricht en hoeveel verloren gaat aan temperatuur of wrijving. Bij elke overbrenging is er verlies.

$$P = U \cdot I$$

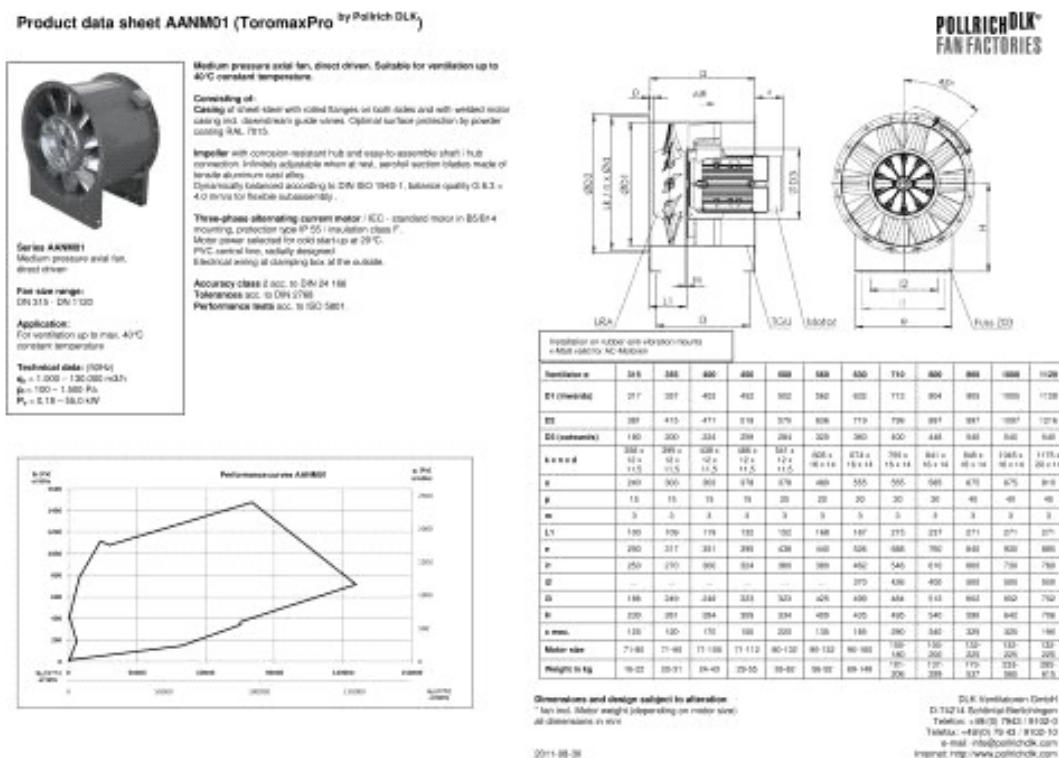
Dit zijn meetbare waarden en zo zou ik het rendement kunnen berekenen van de elektrische energie die in de machine wordt verbruikt en hoeveel werkelijke arbeid dit oplevert,

Kan ook via een Watt-meter, deze meet beide U en I .

3.5 Ventilatoren, luchtdebit, werkpunt installatie

Ventilators windkracht of druk vermogen berekenen bij een bepaald vermogen, hoe doe je dat? Het zal zeker iets te maken hebben met de oppervlakte A van de schoepen van de ventilator, en de buiging van de schoep.

Meestal levert de producent een degelijke datasheet met daarop het vermogen, stuwkracht, windsnelheden op in grafieken. Wat me al opgevallen is, is dat dit niet een lineair is over de hele curve



Figuur 5

3.5.1 Luchtdebit

Dit is de hoeveelheid lucht die verplaatst wordt binnen een bepaalde tijdseenheid, bij ons meestal uitgedrukt in m³/h, al worden l/s, m³/min. of m³/sec ook vaak gebruikt. Er is een formule die de relatie tussen luchtdebit en oppervlak voorstelt.

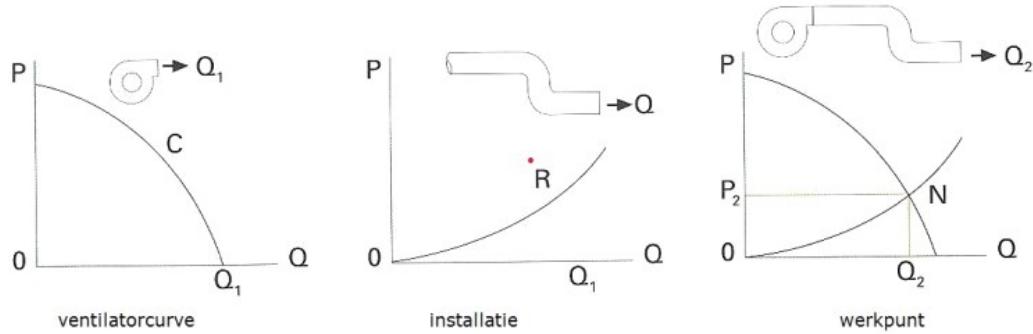
$$Q = V * S \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$V = \text{luchtsnelheid (m/sec)}$$

$$S = \text{doorsnede van het luchtkanaal (m}^2\text{)}$$

3.5.2 Werkpunt installatie

Dit is het snijpunt van de ventilator curve en de weerstandskarakteristiek van de leidingen/installatie, m.a.w. het drukverlies van de installatie.



Figuur 6

3.5.3 Ventilatorwetten

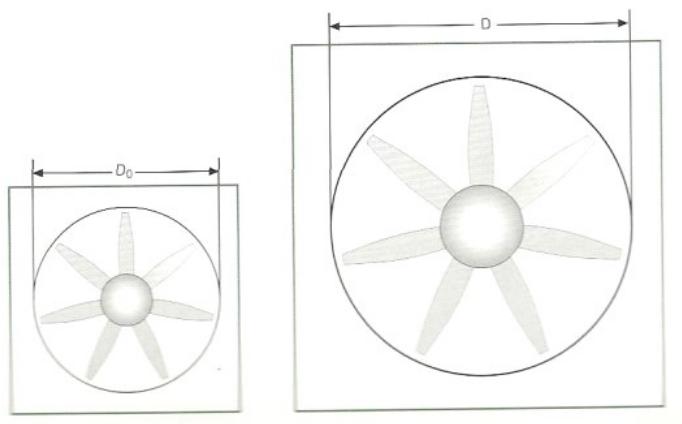
Tabel 1

Luchtdebit	$qv = qv_0 (\Delta r / \Delta r_0)^3$
Druk	$P_f = P_f (\Delta r / \Delta r_0)^2$
Geluidsdruck	$L_{wt} = L_{wt} + 70 \log \Delta r / \Delta r_0$

Met D en D0 die diameter van de ventilator doorgang.

Pf = de gerealiseerde druk vanuit het kracht perspectief.

Lwt = De geluidsbelasting van de windturbine.



Figuur 7

3.6 Reynoldsgetal en viscositeit

Het reynoldsgetal, soms getal van Reynolds, is een dimensie loze grootheid uit de stromingsleer. Het wordt gebruikt om te bepalen of een stroming laminair is of turbulent, maar ook om tussen twee verschillende stromingen te vergelijken. Dit kan nuttig zijn als men het gedrag van een vliegtuigvleugel of een waterstelsel wil onderzoeken met een schaalmodel.

Het reynoldsgetal Re is vernoemd naar Osbourne Reynolds (1842-1912); de waarde wordt gevonden met:

$$Re = V \cdot L \cdot \rho / \mu$$

$$Re = V \cdot L / v$$

V = Karakteristieke snelheid (bij een buis, de gemiddelde stroomsnelheid) [m/s]

L = Karakteristieke lengte (bij een stroming door een buis is dit de diameter) [m]

ρ (Rho) = dichtheid van het stromende medium [kg/m³]

μ (Mu) = Dynamische viscositeit van het stromende medium [Pa·s] met

v (Nu) = Kinematische viscositeit van het stromende medium [m²/s]

De grootheden, dynamische en kinematische viscositeit hun beginselen:

De Dynamische viscositeit (Pa·s), of in SI-basiseenheden kg·m⁻¹·s⁻¹

$$\mu = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t \mu = \text{dynamische viscositeit in cP (centipoise)}$$

K = kogelconstante in cP·cm³/(g·s)

ρ_1 = dichtheid van de kogel in g/cm³.

ρ_2 = dichtheid van de vloeistof waarvan je de viscositeit wil bepalen in g/cm³

t = looptijd van de kogel in seconden.

De kinematische viscositeit (v).

$$V = \mu / \rho$$

v = kinematische viscositeit (m²/s)

μ = dynamische viscositeit (Pa·s)

ρ = dichtheid (kg/m³)

3.7 Arduino

3.7.1 *Wat is een arduino*

Een gebruiksvriendelijk klein prototyping board, heel wat in- en uitgangen; analoog en digitaal, alsook zijn enkele communicatieprotocollen intern aanwezig. Open-source, laat toe dat iedereen ze kan maken en aanpassen. De broncode is ter beschikking gesteld voor het publiek.

In 2005 zag de eerste Arduino UNO het levenslicht. Dit gebeurde in Italië onder leiding van Massimo Banzi. De doelstelling was; hobbyisten en makers een eenvoudig toegankelijk platform te ontwerpen, het zou moeten dienen als stepping stone in de wereld van microcontrollers.

Hierbij is de Arduino voorzien van zijn eigen compiling en programmataal software. Deze is gratis te downloaden op hun website. Op deze website staan de syntax, een forum, tutorials, ... en nog een veel meer informatie. Er is ook op andere kanalen informatie terug te vinden; zoals op Youtube. Daar zijn de tutorials van John McWorther doorgenomen voor dit onderzoek. Het is een goed begin, bij het leren programmeren en werken met een Arduino.

Meeste zijn gunstig geprijsd, er hoeft niet aan industriële eisen te worden voldaan; IP-graad, levensduur, kwaliteit, ... En er is vrije concurrentie mogelijk door de open-source software.

Al hebben de Arduino's de reputatie van kauwgombak PLC, kunnen deze kleine microcontrollers best wel concurreren tegen de grote fabrikanten. Dit doen ze door hun gebruiksvriendelijkheid en hoge functionaliteit. Meeste industriële PLC's worden standaard geleverd met maar enkele digitale inputs en outputs, wenst men analoge ingangen? Schaf dan maar een extra module aan.

Een minpunt van de Arduino is het ontbreken van een 0-20mA stroomsturing. Het biedt enkel de analoge spanning van 0-5V. Mocht een sensor of actuator nodig zijn die werkt met een spanning van 0-10V, moet er een Elektrische oplossing bedacht worden. Een voorbeeld hiervan is; een dubbele weerstand van gelijke waarde, bij een 10 volt gevoede kring, in het midden aftakken. Dit levert een reductie van 0-10v naar 0-5 volt. Wel is er bij deze omzetting geen galvanische scheiding en energieverlies tot gevolg, deze dissipeert over de weerstanden. Men kan dit ook toepassen bij het converteren van een 10V signaal naar een 3,3V signaal. Hier plaats je 2 weerstanden met respectievelijk 2/3 en 1/3 van de waarde. Voor het toe passen in de industrie mist de Arduino enkel een IP67 gekeurde kast of een robuust omhulsel.

Er zijn verschillende soorten Arduino microcontrollers. Zoals de Leonardo, Due, Mega, Genuino, ... voor dit project, heb ik gekozen voor de Mega2560, 5volt logica, 50 digitale I/O en 15 analoge ingangen. Er waren goede recensies online en enkele van mijn vrienden raden deze ook aan.

Voor de sensoren worden de break-out boards van Grove, Seeedstudio of Joy-IT besteld. Deze producenten leveren kwalitatiever materiaal, dan Aliexpress die via onafhankelijke verkopers vanuit China leveren.

Dit is aan bod gekomen toen 3 Lcd-schermen, gekocht voor 1/3 van de prijs. Na een half uur testen komen plots vreemde symbolen op het scherm. Na het herhaaldelijk doorlopen van het programma, op zoek naar een fout. Dan een ander scherm met een andere convertor aangesloten (weliswaar van dezelfde batch). Hetzelfde probleem, misschien was de Arduino opgeblazen. Mogelijks bij het voeden met 12V, via een universele 5V L7805 voltage regulator. Niet opgeven! Na het aansluiten van het 4^{de} scherm, van een ander merk (Joy-IT) werkte alles weer zoals ervoor. Achteraf bleek dat er slechte I2C convertoren in omloop zijn. Deze zijn bij het productieproces toch aan de Lcd-schermen aangesloten, waarschijnlijk omdat er geen kwaliteitscontrole wordt toegepast. 75cent en 3u verwarring is hier verloren gegaan. Het was een extra oefening bij het opsporen van fouten en storingen.

3.7.2 Programmatie: C++, Arduino IDE

De programmatie van de Arduino gebeurt via de Arduino IDE. Deze software bevat een debugger, compiler en het communicatieprotocol waarmee je het programma in de Arduino laadt. Een eenvoudig tekstverwerkend programma met de nodige functies. Bij het inladen, selecteer je de soort Arduino en versie die je gaat gebruiken. De COM poort wordt via de usb kabel automatisch herkend. In Windows kan je deze verifiëren bij de "tools" in de bovenste balk, onder de afdeling "Port". Hier kan men ook de Arduino selecteren bij "board". Achteraf komt hier nog een extra icoon; Processor. Namaak Arduino's kunnen een verouderde versie van de bootloader bevatten, deze instelling moet correct zijn ingegeven om het programma te kunnen inladen.

De Syntax lijkt heel sterk op C++, dit is wel een volledig andere manier dan werken dan met ladder diagram of met functieblokken. Aangezien er veel mogelijk is, het programma is niet specifiek functie gericht, zoals bij functieblokken. Alles is opgebouwd uit tekst, hierdoor kunnen meer fouten in de code/programma voorkomen, door typfouten of incorrecte syntax. Analoog Duplo en 3D printen. Jammer dat we dit niet gezien hebben tijdens onze opleiding. Gelukkige heb ik ervaring met Structured Tekst of ST programmatie, bij Siemens PLC's kan je hiermee zelf functieblokken creëren. Deze kan je dan invoeren in een programma geschreven in functieblokken/ladder. De taal staat beschreven in de IEC61131 volgens deze norm is de taal gebaseerd op Pascal. Volgens mij is de gelijkenis van programmeren in tekststructuur eerder aan C++ verwant. Nu heb ik al code gewijzigd in functieblokken; bij interventies, storingen en het in dienst stellen van nieuwe machines. Toch merkt men een wezenlijk verschil tussen code kunnen lezen en kunnen schrijven. Er zijn Syntaxcompilers online beschikbaar, waar men het programma in ladder kan schrijven. Deze vertaalt automatisch naar Arduino syntax/Language.

Reference: <https://www.arduino.cc/reference/en/>

Een minpunt van deze vertaalprogramma's is dat ze log zijn. De programma's gemaakt in ladder, zijn groter dan een soortgelijk programma, geschreven in de Arduino syntax. Er wordt veel geheugen verbruikt, die dient om de vertaling universeel uit te voeren. De Arduino MEGA2560, beschikt over 256kB en 8kB SRAM, de Uno over 32kB en 2kB. Een extra reden waarom er voor de Mega2560 is gekozen.

3.8 Communicatie tussen IC's

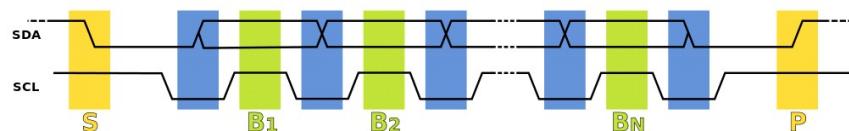
Er zijn heel wat communicatieprotocollen, in dit onderzoek beperken we ons tot I²C en UART.

Signalen verzenden kan parallel, voor elke bit is een aparte draad nodig. Of serieel, hierbij zullen meerdere bits verstuurd worden in sequentie over 2 draden. Beide zijn een vorm van seriële communicatie

UART maakt dus gebruik van 2 draden; een voor het zenden van data (Tx) en een voor het ontvangen van data (Rx). De Ontvanger en zender zijn beide afgesteld op een bepaalde Baudrate, parity bit, character length en stop Bit. Als deze waarden niet in de beide controllers hetzelfde zijn, kan er geen gegevensoverdracht plaats vinden worden. De enig vaste waarde die de transfersnelheid bepaalt is dat één seconde een tijdsduur heeft van één seconde. Zo kunnen het aantal bits per seconde vastgelegd worden om data te versturen. Bij het verzenden, start de ontvanger met het tellen, als die een flank detecteert, van de bit, die hoog wordt gestuurd door de verzender. Dit gebeurt aan een afgesproken baudrate (vb 9600Kb/s)

I²C staat voor Inter Integrated Circuit en is ontwikkeld door Phillips in 1979 zodat de televisie en toebehoren met elkaar kunnen afstemmen en communiceren. Aansluiten van uitbreidingen, zoals videorecorders was hierdoor voor de consument vereenvoudigd ... Het zorgde voor een goedkoop en betrouwbaar alternatief op de toen gebruikte parallel gestuurde databussen. Destijds was datatransfer beperkt tot 100kbit/sec en storingsgevoelig bij lengtes langer dan 3m. Ondertussen zijn speciale buffer-IC's ontwikkeld, en snelheden tot 5Ghz mogelijk.

Het werkt op basis van twee buslijnen, namelijk SDA (serial data) en SCL (serial clock). Over de SDA-lijn wordt de data verzonden en over de SCL-lijn wordt het kloksignaal verzonden.



Figuur 8

De werking van I²C dataoverdracht:

Data verzenden wordt geïnitieerd met een STARTbit (S) die de SDA het signaal geeft om omlaag getrokken te worden, terwijl de SCL hoog blijft.

SDA zet de eerste data-bit gelijk, terwijl SCL laag gehouden wordt (gedurende de blauwe tijdsbalk.). De data worden ontvangen als SCL naar omhoog gaat (groen).

Als de overdracht compleet is wordt een STOP-bit (P) verzonden door de datalijn vrij te geven en deze zo in staat te stellen om omhooggetrokken te worden, terwijl SCL continu hooggehouden wordt. Dit wordt ook wel de ACK van acknowledge genoemd

Ten einde valse detectie te voorkomen wordt het niveau van de SDA veranderd op de dalende flank (overgang van hoog naar laag) van SCL. Het uitlezen gebeurt op de stijgende flank (de overgang van laag naar hoog) van SCL.

De Master stuurt een oproep uit naar een bepaald adres op de bus, alles gebeurt in sequenties van 8 bit de eerste bit is de read/write bit daarna volgt het adres. Er zijn 2^7 adressen beschikbaar hierdoor kan je theoretisch 129 apparaten met elkaar verbinden, de master zelf heeft geen adres. Dit wijkt af in de praktijk, omdat sommige adressen toegewezen zijn aan standaard apparaten.

Er zijn voor- en nadelen, het is gemakkelijk aan te sluiten en er kunnen heel wat apparaten met elkaar communiceren via 2 bus draden. Er moet rekening gehouden worden bij het aansluiten. Dat de inwendige weerstand van alle I²C apparaten cumuleren weerstand lager. Een pull-up weerstand dient om lijn SCL en SDA hoog te houden. Deze kan variëren van 200Ohm tot 4700Ohm, elke ingang heeft zijn eigen weerstand nodig. Meeste apparaten zijn intern voorzien van pull-up weerstand. Bij het parallel aansluiten van meerder apparaten, wordt de vergelijking $1/R_{tot} = 1/R_{dev1} + 1/R_{dev2} + \dots$ Met als gevolg een te lage weerstand. Dit kan de ingangstransistor van de master overbelasten.

3.9 Rapid proto-typing, 3D-printing, CAD

Aangezien ik het ontwerp van een separator ga ontwikkelen en er iets meer detail in verwerkt hoeft te zijn, heb ik mijn trouwe tinkercad platform gelaten en mij aan fusion360 gewaagd.

Het modelleren met Fusion360 gaat iets vlotter. Er kan vanuit een 3D perspectief ontwerpen, waardoor je rapper fouten opmerkt. Ook is er een tijdlijn aanwezig die je toelaat alle genomen stappen te overlopen of indien nodig terug te draaien. Het model rechtstreeks in 3D bewerken is een pakt aangenamer dan AutoCAD, waar enkel bewerkingen in 2D mogelijk zijn. Het gebruiken van schetsen, die je 2D tekenend op vlakken, zoals in AutoCAD, kunnen eenvoudig en snel omgevormd tot 3D body. Het is natuurlijk niet zo eenvoudig als blokken op elkaar stapelen. Voor heel simpele designs en geen voorkennis van 3D-modelling, raad ik nog steeds iedereen Tinkercad aan. Eens vertrouwd met Fusion360, zou ik zelf eerder dat platform gebruiken.

Een minpunt aan Fusion360; het feit dat het web-based is. Het CADmodel valt niet te bewerken zonder een internetverbinding. Maar het vervelendste voor mij persoonlijk, is de rechtermuisknop, die niet kan aangepast worden. En tot dusver elke knoppen combinatie. Instellingen wijzigen is beperkt, dit is prefab bepaald binnen de we client. De leercurve bij fusion360 is iets steiler dan bij bvb; TinkerCAD. De creatieve vrijheid en functies zoals "circular pattern", maar ook de vlotte vereniging van functies uit AutoCAD of afgekeken van Solidworks, de duidelijke GIU, ... Het zijn deze elementen die het de moeite maken. Even een dag of 3 inzetten, met heel wat links-muis geklik, en je beheerst in beperkte mate het fusion360 tekenpakket. Hiermee bedoel ik dat je een functioneel design kan ontwerpen, niet dat je hiermee David van Leonardo Da Vinci kan repliceren.

Nog een handige functie; de mogelijkheid om een vlak op het model aan te klikken en "in plane" te selecteren, zo kan men een schets tekenen in dit vlak. De tekenopties van de 2D sketch tool verschijnen in de balk boven, bij het wijzigen van Solid-modelling naar Sketch-modelling

Fusion360 bewaart elk gebruikte plane, alsook elke schets, in het ontwerp. Bij een revisie kan je heel eenvoudig wijzigingen uitvoeren van de originele schets. Er wordt gebruik gemaakt van een timeline, deze optie kan je uitzetten, afhankelijk van je voorkeur of geprefereerde werkmethode. De timeline laat toe om terug te gaan naar een schets gemaakt in het begin van het ontwerp, je kan die schets bekijken, maar ook aanpassen. Een aanpassing van een schets op de tijdlijn, zal de gegenereerde body aanpassen. Houd wel rekening met het feit dat je alle vooruitgang verliest, eens je een wijziging in de tijdlijn uitvoert. Je moet terug vanaf die schets alles wat daarop volgde, hertekenen. Ik raad dus ook aan deze functie enkel in kleine onderdelen te

gebruiken, waarbij niet veel modeleerwerk nodig is.

Heel gesegmenteerd te werk te gaan is, een optie om niet meerder uren aan werk te verliezen. Mocht je kiezen de functie "timeline" uit te zetten, zullen wijzigingen in de schetsen die eerder zijn gemaakt, geen invloed hebben op al gegenereerde body's.

Je kan je model opsplitsen in componenten die dan op hun beurt bestaan uit meerdere body's. Deze componenten kan je makkelijk verbergen om beter zicht te hebben op een specifiek component van het geheel, links heb je de tree ter beschikking dit is een lijst met alle schetsen, alle bodies, en de componenten die je vormt met de body's. De offset panes die je hebt gebruikt zijn hier ook beschikbaar. De timeline is onderaan zichtbaar.

Er zijn heel wat elementen van AutoCAD overgenomen in Fusion360, handig want die functies heb je dan al onder de knie van in de lessen. Een simulator manufacturing waar je een simulatie van het te verkrijgen model aan de hand van een verspanende bewerking maakt. Dit is een vorm van lean-design. Er wordt al vanuit het design gecontroleerd of het wel mogelijk is om het model te maken met de beschikbare middelen. Ook kan je functionele physics toepassen zoals bij Inventor maar dit is niet mogelijk in de gratis versie. Ook is er geen flowsimulator voor fusion360, terwijl je dit wel vind in NX, Solidworks of Inventor, met een uitgebreide analyse van de CFD (Computational Fluid Dynamics). Natuurlijk hebben die enkel een premium versie ter beschikking voor het publiek, die een flinke zak spaargeld kost. Na wat googelen had ik openFOAM gevonden en dit is een CFD waar je een STL-file kan in laden, gratis en opensource, maar sowieso zal er wat tinkeren en tutorials moeten bekijken worden want dat zag er helemaal niet zo plug-and-play uit.

Een 3d Printer kost vandaag niet zoveel meer als een inkjet printer in 2000, ik ga ervan uit dat iedereen binnen dit en 10 jaar een 3d printer in huis zal hebben. Zoals het gemak van een gewone printer om altijd documenten te kunnen printen, iets wat vandaag zelf al wat voorbijgestreefd is, meeste document hebben al digitale alternatieven.

Het is ook gewoon een gemak, plastiek steun gebroken van de legplank in de kast, ontwerp er eentje en printen. Draaiknop van de chauffage afgebroken, even iets tekenen en klaar. Een organizer, collectibles, ...

Ik heb zelf gekozen voor een resin printer namelijk de Photon Zero, de hoge kwaliteit en scherpe detail in de prints spraken mij aan. Natuurlijk ondertussen heb ik ook gemerkt dat de resins hun voor- en nadelen hebben. Een van de nadelen; ze worden Bros bij te lange uitharding, maar daarentegen staat dat je tot 0.01mm laagdikte kan printen. Dit is zelf scherper dan het lcd-scherm van de Zero die met de XY-as maar 0.25mm² pixels kan projecteren. Kostprijs; 180€ met een liter printmateriaal. Toch beter zijn grotere broer besteld? Groter bouwvolume en hogere resolutie van Lcd-scherm, maar die kost wel 400€.

Voor het printen van ringen en zeer fijne dingen, zoals kunststoffen tanden voldoet die. De separator sterk moeten inkrimpen om die op mijn printer te kunnen printen. Dus alles is 85% geschaald, de cyclon stofafscheider is op 35% van zijn oorspronkelijke formaat geprint. Er zijn dan meerdere cyclonen nodig, om een buissectie van 40mm diameter, volledig te benutten. Gelukkig zijn de prints bijna haarscherp en zou je op foto het verschil niet merken.

4 Eerste ontwerp

4.1 Visualisatie en principe

Een HEPA-filter is een filter die voldoet aan bepaalde eisen, en daarna een klasse wordt toegewezen. Men start met 1 filterelement. In deze toepassing is het de bedoeling de werkende principes van de filterdoek/stof door hun respectievelijke mechanische/fysische bewerking. Een terugkoppeling van de gefilterde lucht laat de voorgaande trappen nogmaals doorlopen. Dit zou een instelbare optie kunnen zijn die een ruimte niet voorziet in nieuwe verse lucht maar een herhaaldelijk gefilterde lucht.

Het filtratie membraan; een doek, bestaat uit meerdere vezels die willekeurig tegenover elkaar zijn geplaatst en dus geen vaste vorm hebben. Deze vezels slagen erin om op 3 wijzen het stof te vangen of vernietigen.

4.1.1 *Inertie*

Het eerste worden de grootste stofdeeltjes gescheiden van de aangevoerde lucht. Dit kan door een mazensysteem van buizen te gebruiken; waarbij de lucht bij een vernauwing zich sneller verplaatst dan het stofdeeltje. Meerdere vernauwingen bemoeilijk het automatisch reneigen. Op termijn kan vuil op meerdere plekken ophopen. Dit kan de efficiëntie van de Luchtuiveraar doen dalen.

Een settling-chamber is hiervan een voorbeeld of een baffle-chamber.

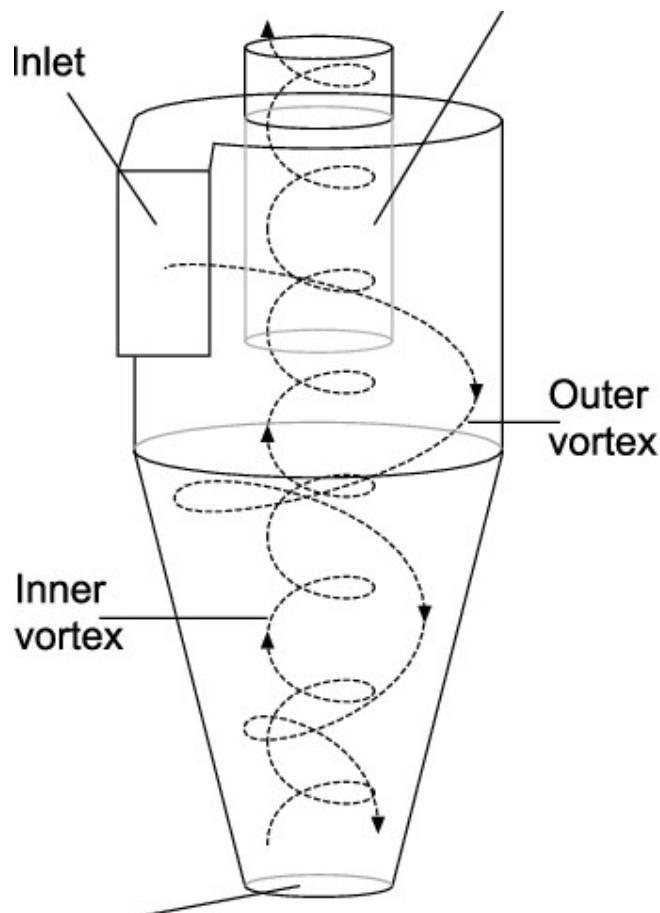
Een plots obstakel, loodrecht op luchtstroom, zorgt ervoor dat grote vuildeeltjes wordt gesplitst van de luchtstroom. Op dat moment ontstaat achter het obstakel een vacuüm, die ingevuld wordt door turbulente luchtstroom. De luchtstroom wordt versneld langs dit obstakel, hierdoor zal het zwaardere vuildeeltje neerslaan in de opvangkamer(s). Dit maakt gebruik van principes uit de Aerodynamica.

Een andere mogelijkheid is cycloon-filtratie, hierbij zal de lucht een versnelling ondervinden door den neerwaartse spiraal waarbij in het centrum van de cycloon de versnelling in cycloon naar boven toe het hoogst is. Door de centrifugale beweging van de cycloon, zal het stofdeeltje vallen of tegen de rand geslingerend worden in de neerwaartse cycloon. Hier zal het dan langzaam naar beneden rollen meegevoerd door de neerwaartse cycloon. De opwaarts bewegende tegenovergestelde cycloon zal, elk resterend zwaar stofdeeltje, in de buitenste cycloon zwieren, en hierdoor wordt dan de vorige stap herhaald. De versnelling van de lucht zal het stofdeeltje niet mee opwaarts doen bewegen.

De centrifugaal-kracht genoeg is sterker om het uit de baan van de cycloon te werpen. Een voorbeeld hiervan zijn de vliegende koeien in Tornado's. De centrifugaal kracht van een tornado zal de koe steeds meer naar de buitenrand verplaatsen. Op een zeker moment splitst de koe van de luchtstroom. Dit zorgt ervoor dat de koe uit de tornado vliegt. Bij de neerwaartse spiraal vernauwt de behuizing, dit zorgt ervoor dat de afstand tot de rand van de cycloon stelselmatig afneemt. De afbuigende kracht [Fmbt] die nodig is om een stofdeeltje met snelheid [v] en een massa [M] op een afstand [R] van het middelpunt te houden;

$$F_{mbt} = M \cdot v^2 / R$$

F_{mbt} kan dus ook bekijken worden als de windkracht van de lucht, die de vorm van de vortex volgt. Bij een dalende afstand R , waarbij massa M van het deeltje gelijk blijft, stijgt de snelheid van het stofdeeltje. Dit zorgt dat de benodigde afbuigende kracht groter wordt.



Figuur 9

De kracht, die de luchtstroom uitoefent op een stofdeeltje, is na een bepaalde tijd in dalende straal van de cycloon niet voldoende om de centrifugaal kracht F_{mbt} te evenaren. Hierdoor zal het vuildeeltje zich tot de buitenste rand van de cycloon verplaatsen, tot het moment waarbij het uit de luchtstroom wordt geslingerd.

Het toepassen van cycloonfiltratie wordt al lang toegepast in de industrie, bij grote afzuiginstallaties waar er veel stof bij gegenereerd wordt. Zoals poederlakinstallaties, of spaanafvoer bij houtzaaginstallaties. Deze cyclooninstallaties zijn veel groter van ontwerp, dan de toepassing in dit project. Maar het principe blijft hetzelfde of het nu in kleine schaal of op grote schaal wordt uitgevoerd. Een ander voorbeeld van cycloon afscheiding zijn de Dyson stofzuigers, als bewijs dat er tot op deze schaal een efficiënte werking plaatsvindt. Hier heeft men al duidelijk het nut en de effectiviteit bewezen van meerdere kleine cycloon generators, die het stof scheiden van de lucht en dus ook vuil.

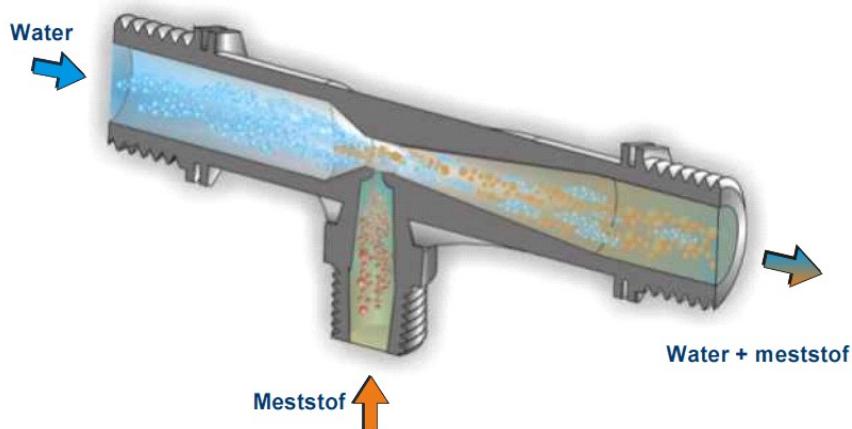
Hier kan je een video bekijken met daarop de werking van cycloon separatie uitgelegd: <https://www.youtube.com/watch?v=tVj6fx6MNI>

4.1.2 Diffusie.

Dit is voornamelijk om de heel kleine deeltjes te vangen, hier kan gebruik worden gemaakt van verschillende mediums. Lucht doen botsen met een andere substantie in een andere aggregatietoestand. Er is een groot verschil in snelheid waarin deeltjes zich kunnen verplaatsen in beide mediums. Het plots remmen van de rand van een stofdeeltje, bij contact met de andere substantie, zorgt ervoor dat het afbreekt de richting wijzigt. Het stofdeeltje beweegt zich dan in een richting waar het volledig opgenomen wordt in de vloeistof. Een spin op een circulair of cilindrisch stofdeeltje kan een Magnus kracht veroorzaken. Een stofdeeltje waar een Magnus kracht op inwerkt, beweegt zich in een andere richting dan de luchtstroom.

Een statische mixer zorgt voor de turbulentie tussen de twee aggregatietoestand en mediums, om zo de vangkans van de stofdeeltjes te verhogen. Dit is besproken in de inleiding.

De verneveling van water in kleine waterdeeltje verhoogt de kans op botsingen. Achteraf worden die waterdeeltje terug vlot in het statisch water opgenomen. Eens het stofdeeltje in contact komt met het water, is de kracht benodigd om dan het stofdeeltje uit het waterbolletjes te halen heel groot. Het capillair effect zorgt ervoor dat het water zich rondom het stofdeeltje beweegt. Dit zorgt ervoor dat het stofdeeltje in het water blijft plakken.



Druk: PN20

Max. werktemperatuur: 80°C

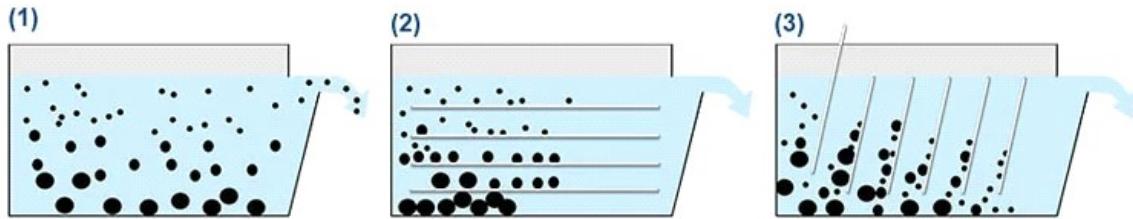
Draadaansluiting volgens UNI ISO 7/1

Figuur 10

Het Venturi effect kan worden gebruik. Dit is gebaseerd op de Wet van Bernoulli. Het gegenereerd vacuüm, na een vernauwing van een buis, kan dan de aanvoer en verneveling van vloeistof voorzien. De plotse versnelling van dit water zorgt voor een uitzetting van het water. Zodra er deeltjes water zich in het vacuüm bevinden verandert de volumedichtheid van dat water. Viskeuze krachten houden het water bij elkaar, terwijl vacuümkrachten het in micro-deeltjes doet exploderen. Er kan zelf een deel in gas omgezet worden om de leegte te vullen met deeltjes, indien er niet voldoende luchttoevoer is. Deze microdeeltjes water zijn goede vangmiddelen voor kleine stofdeeltjes.

4.1.3 Inslag

Dit is het separator principe die gebruikt wordt in de Rainbow en de Hydra stofzuigers. Een net/rotor aan zeer hoge toerentallen zorg ervoor deeltjes die even snel als de lucht bewegen zullen kapotgeslagen worden op de lamellen of gevangen worden tegen de lamellen en dus uit de luchtstroom verwijderd worden.



Figuur 11

Een voorbeeld van hoe een separator eruitziet is te zien in de inleiding bij het verkennend onderzoek. Het model dat uitgewerkt is in dit eindwerk dient als test functie.

Bij een vloeistof zijn stilstaande lamellen voldoende. In lucht zijn veel meer lamellen nodig voor eenzelfde zuivering te verkrijgen. Dus maak ik gebruik van bewegende lamellen om het contact oppervlakte te vergroten met de luchtstroom. Elke vorm van lamellen zal een luchtverplaatsing veroorzaken, in de tegenovergestelde richting van de gewenste luchtstroom. Als de opgewekte luchtstroom in deze richting trager is, zal lucht zich nog in de juiste richting verplaatsen. Hierbij vele malen botsen met de lamellen.

4.1.4 Meertraps-filtratie

Dus een combinatie van de verschillende elementen, elk met hun specifieke doel zou een even effectieve filtratie van de lucht kunnen bieden, als een wegwerpbare HEPA-filter.

Waarbij de cyclone de eerste filter is, daarna door buizen via een ventilator in het water gestuwd. De lucht die in de opvangbak met het water zit, zal zich door de separator verplaatsen en weer vrijkomen in de omgevingsslucht. Deze trapsgewijze filtratie zal verder in detail besproken worden bij de 3D te printen componenten.

4.2 Printbare 3D componenten

4.2.1 De Cycloon

Dit is het eerste onderdeel dat is geprint. Een cycloon aan een schappelijke prijs was niet te vinden. Een commercieel beschikbare cycloonafscheider, met ingangs diameter 40mm, kan al vlot 30€ kosten. Eens kijken of dit ontwerp niet ergens valt te downloaden, vooraleer het uit te tekenen.



Figuur 12

Er bestaan websites zoals thingiverse, grabCAD, ... Dit zijn heel uitgebreide bibliotheken van designs, vrijgegeven onder publieke licenties. Afhankelijk van de licentie mag het design gratis verdeeld en aangepast worden. Deze bepaalt ook of het ontwerp commercieel gebruikt mag worden of niet. TinkerCAD heeft ook een heel uitgebreide bibliotheek van user made designs.

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de "Cyclone dust separator/ vortex filter", ontworpen door LizzyDesign. Bij deze bedank ik deze persoon voor het vrijgeven van het ontwerp. Meer info over het origineel kan u vinden met deze link:
<https://www.thingiverse.com/thing:2018105>



Figuur 13



Figuur 14

Nu is dit origineel model te groot voor de beschikbare printer. In de bijgevoegde software van de printer, de Photon slicer, is het model geschaald op 35%. De ingangsstube heeft hierdoor een diameter van ongeveer 12mm. Net voldoende om een waterslang van een tuinslang die 12,5mm is aan te sluiten met een sluitband.

4.2.2 De Statische mixer



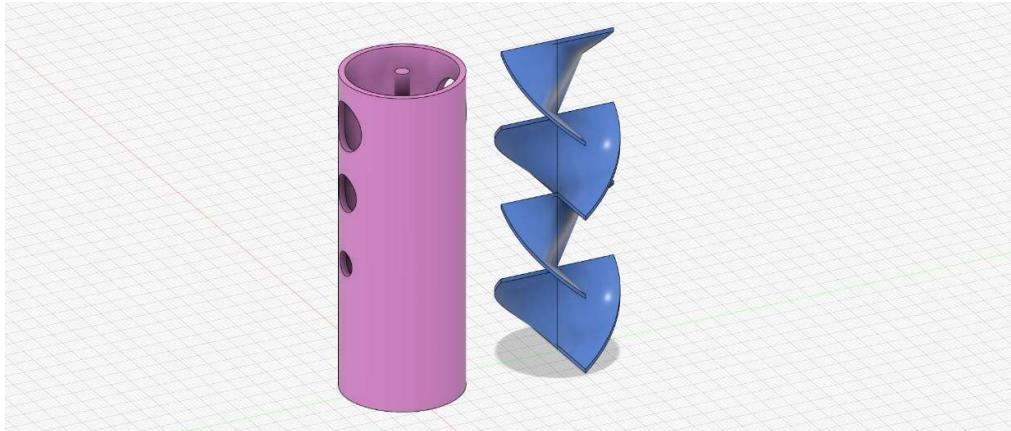
Figuur 15

Statische mixers die gebruikt worden bij het mengen van 2 component lijmen of in chemische verankering konden gebruikt worden voor dit onderzoek. Op zich is de vermenging die gebeurt in deze mixers zeer goed, maar de mixers en hun onderdelen zijn iets te klein. Verstopingen van sediment en vuilophoping is dan een mogelijks probleem, bij herhaaldelijk gebruik. Het design is voornamelijk gemaakt om eenmalige vermenging van de 2 producten te verzekeren.

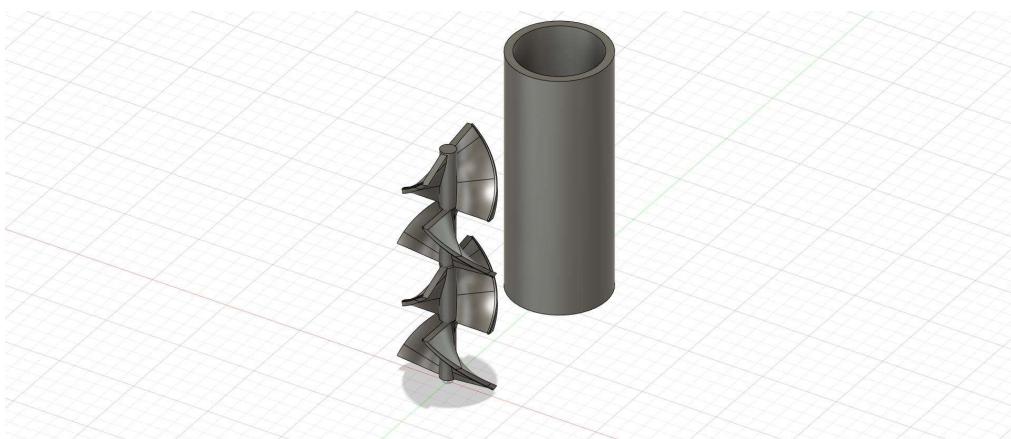
Er is gekozen voor een minder aantal schoepen en een grotere doorgang. Gaten aan de zijkant waar water langs kan zodat waterdruppels zorgen voor reiniging gedurende de werking. Hier komt het Venturi effect van pas. Het ontwerp is de eerste keer gemaakt met Tinkercad, daar is een dubbele helix omgevormd tot mixer. Hierbij is tot de conclusie gekomen dat de lucht enkel een spiraalbeweging zou ondergaan. Dit levert geen effectieve vermenging door botsingen. Het verlengt wel de afgelegde weg van de venturi-vernevelde waterdruppels.

Dit model is herzien in fusion36. Na enkele pogingen is het gelukt twee 45° verschoven balken met elkaar gestroomlijnd te verbinden. Deze zijn rond een center-as enkele malen verplaatst en gekopieerd, om zo een statische mixer te bekomen. Er is dan holle cilinder overgeplaatst, voorzien van gaten waar het water kan inlopen. De STL-file is in de Photon Slicer software geopend en gesliced. Tijdens het overlopen van de lagen, viel het op dat de wand vrij dun was. Zou de stabiliteit van het geprinte materiaal voldoende zijn, zodat bij lichte manipulatie kan de niet permanent afwijkt?

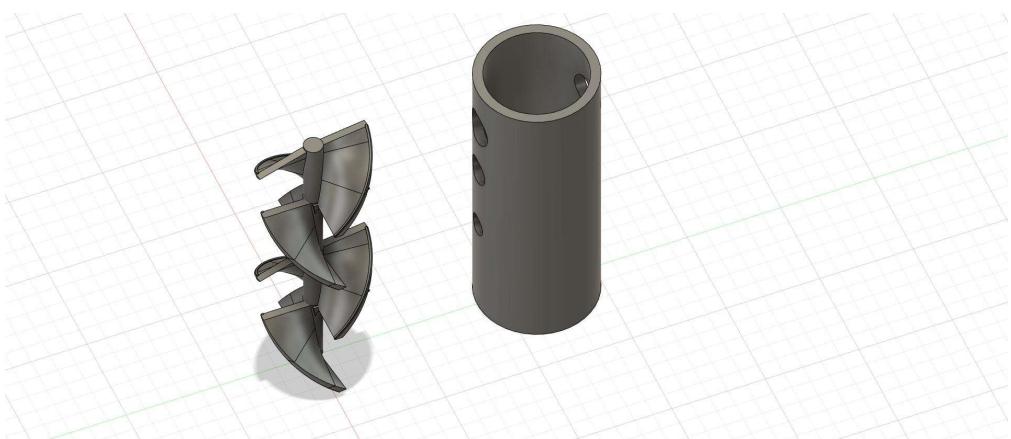
Ondertussen is het de 3^{de} versie, met verdikte wanden. Toch heb ik de vorige versie ook op de buildplate geplaatst, om te zien of de dikte van de wand een probleem zou zijn. Hieronder kan je het verloop van de statische mixers bekijken. Van versie 1 tot 3.



Figuur 16



Figuur 17



Figuur 18

4.2.3 De Separator

Dit is een pronkstukje, die een heleboel tekenwerk heeft gekost. Maar nu dat alles geprint is, en mooi in elkaar schuift is het dubbel plezier.

Het bestaat uit 3 delen, 2 delen die zich in de natte zone bevinden. Het bovenste deel is de afgifte van de lucht daar waar die terug in de ruimte vrij komt. Hier kan bijvoorbeeld een buis over geplaatst worden om dan een of meerdere ruimten te voorzien van stofvrije lucht.



Figuur 19

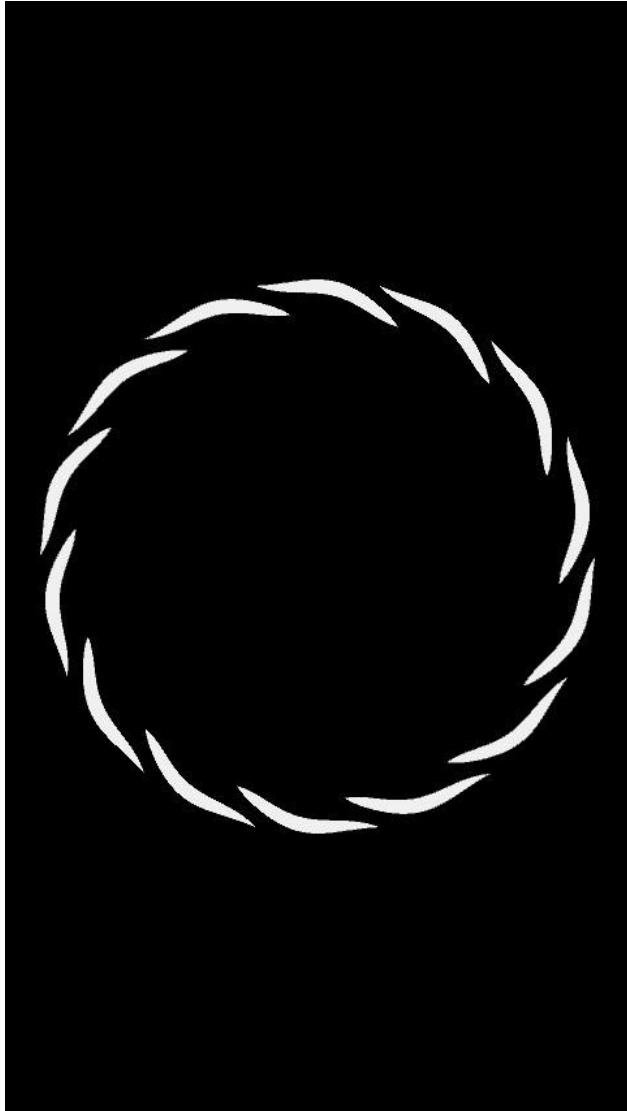


Figuur 20

Het idee was om lamellen zo recht mogelijk te plaatsen, maar wel zodanig dat ze elkaar overlappen. De stand moet zo weinig mogelijk luchtverplaatsing veroorzaken, bij het rondraaien van de separator. Luchtbellen, met daarin verneveld lucht die al stofdeeltjes bevatten, moeten niet tegen de separator komen. Daarom is een spatbescherming voor de separator, dit zijn dezelfde lamellen maar gespiegeld. Bij het verder uitwerken is er een waterslot bij geplaatst. Een deel van lucht met stofdeeltjes zou immers tussen de scheiding van de separator en het omhulsel, aan de kant van de motor, door kunnen. Het waterslot bestaat uit een geul in het bovenste gedeelte van de separator, met een scheidingswand die uit het omhulsel steekt. In het natte zone gedeelte van het omhulsel zijn kanalen aangebracht. Deze dienen om het waterslot te vullen. Het zou kunnen dat er continu watertoevoeging nodig is. Overtollig water wordt eruit gestuwd door de centrifugaal kracht. Dit water wordt opgevangen in de ring, die in het natte zone gedeelte van het omhulsel is verwerkt. Hierin zijn gaatjes voorzien voor de afwateringen. Bij het continu bijvullen van het waterslot aan 4 bar stadsdruk, kan hier een vernevelend effect plaatsvinden.

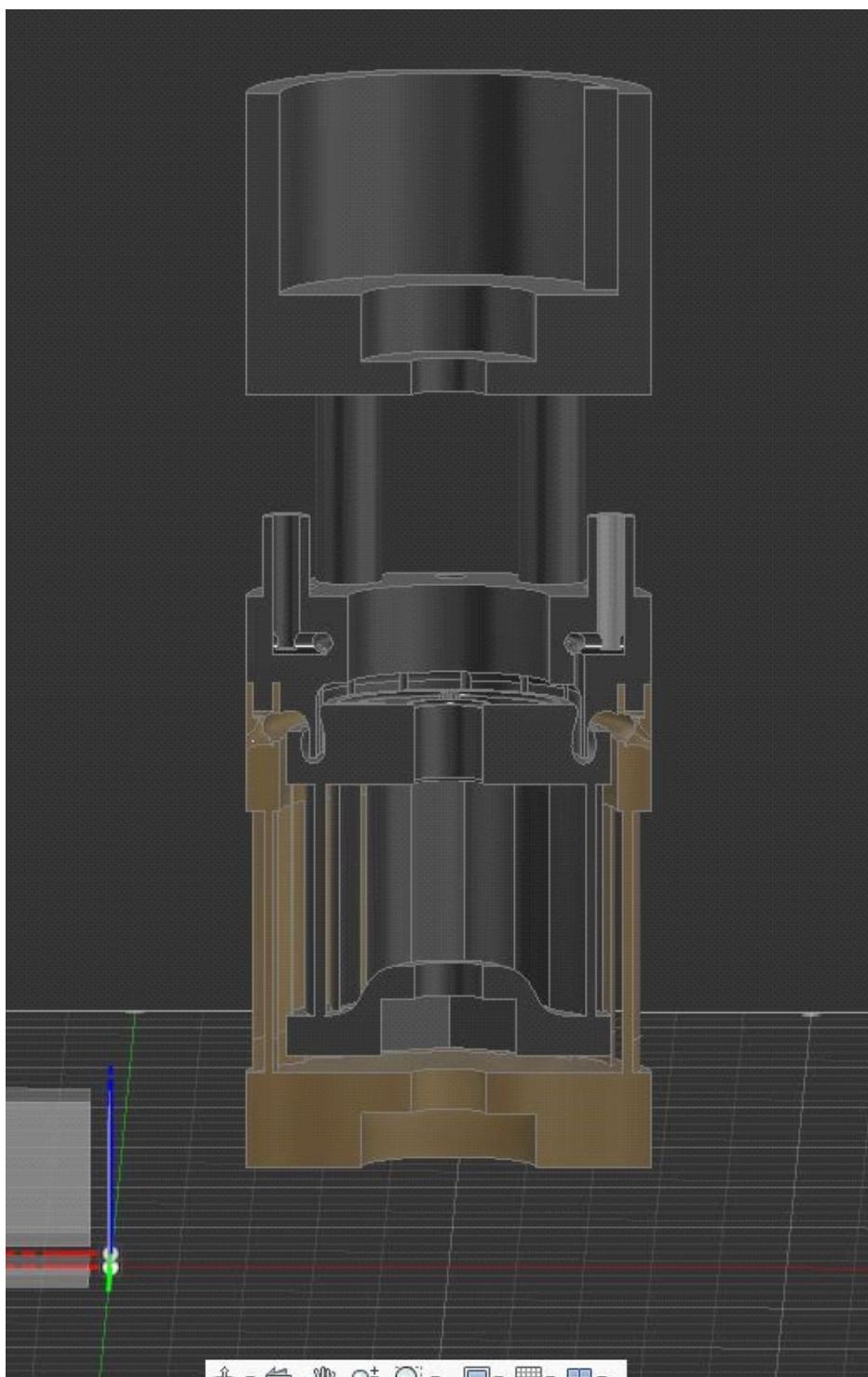
De Separator turbine is voorzien van een centergat voor een M10 draadstang (hier aan 85% geprint zal een M8 draadstang gebruikt worden, de moer die onderaan geplaatst wordt is ook in het design aangepast) verder is er ongeveer een 7mm waterslot. Het meeste is in vol materiaal geprint. Het kruis waardoor de afgevoerd lucht zich verplaatst kan te bros zijn en breken of scheuren. Indien nodig kan dit nog aangepast worden met schuine schoepen die in tegengestelde richting van de separator schoopen staan of Driehoeken die 90° verdraaid staan.

Hieronder zie je hoe de schoopen geplaatst zijn van de separator zelf.



Figuur 21

Doorsnede van de volledige constructie.



Figuur 22

Bovenaan en onderaan plaats voor een 608ZZ lager te plaatsen met een binnendiameter van 8mm en een buitendiameter van 22mm, De M8 draadstaaf dient dan als de centrale aandrijfas. Boven wordt deze aangedreven door een motor met een sterkoppeling of een rubberkoppeling. Als de motor niet het gewenste toerental kan behalen kan een overbrenging verder uitgetekend worden. Er is plaats voor een toerenteller voorzien, deze kan terugkoppeling voorzien aan de sturing en zo een closed loop vormen. Dit kan van pas komen als er gebruik gemaakt wordt van twee aparte motorsturingen.

Het is de bedoeling, dat elke mm verplaatste lucht, een botsing heeft met de lamellen. De luchtsnelheid is te berekenen, door de druk die stijgt in de afgesloten doos met het water. De vorige trap, de stuwend ventilator (hier een haardroger) zal bepalen hoeveel lucht er in de doos wordt gestuwwd deze extra druk is recht evenredig met een uitzetting van het volume. Het volume kan dan berekend worden als een debiet van lucht verplaatsing. De oppervlakte waartussen de lucht zich tussen de lamellen kan verplaatsen is berekend hier.

De hoogte van de lamellen [Hlam]: 34.5mm (85%)

Kortste afgelegde weg tussen 2 lamellen [Slam]: 2mm (85%)

De oppervlakte tussen 2 lamellen [Alam] = $H_{lam} \cdot S_{lam} : 2mm \cdot 34.5mm \cdot 85\% = 58.56mm^2$

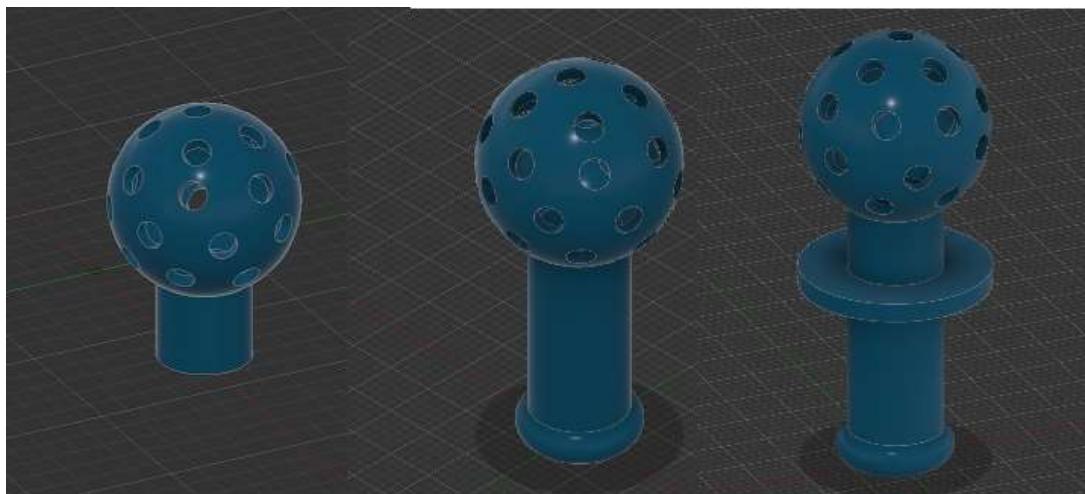
Het totaal aantal lamellen [#lam] = 12

Het totaal aantal oppervlakten tussen de lamellen [#opplam] = [#lam] . [Alam]

De oppervlakte waardoor lucht kan vloeien: [#lam] . [Alam] = 12 . 58.56mm² = 703.8mm²

Hoe sneller de lucht zich verplaatst tussen 2 lamellen hoe sneller de separator moet draaien om zeker te zijn dat alle verplaatste lucht een botsing heeft met de separator lamellen. Bij botsing zijn de lamellen zo geplaatst dat vuil er zal afrollen.

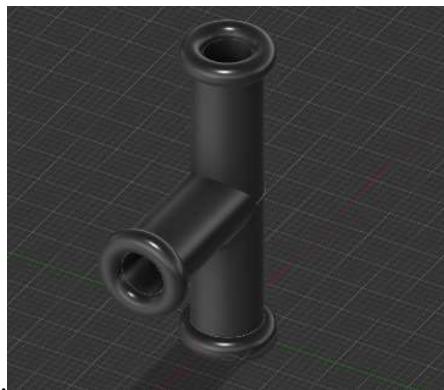
4.2.4 Sproeibollen, behuizing voor PWM-modulatie, dichtingsring



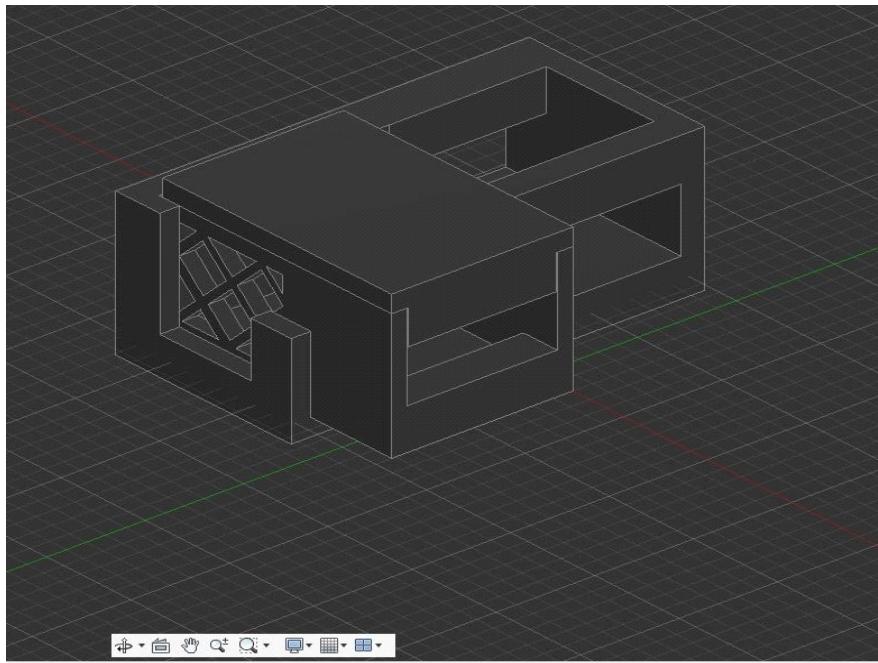
Figuur 23

De sproeibollen zijn gewoon holle bollen met daarin wat gaten. Onderaan kan een tuinslang van 1" worden aangesloten. Bij het vullen en ledigen van de luchtzuiveraar zal deze zichzelf reinigen. Dit gebeurt automatisch door een CIP-proces. Gedurende enkele tijdseenheden sproeit er pulserend, met open afvoerklep. De luchtstroom zal ervoor zorgen dat het vuil in de buizen wordt verwijderd. Dit staat verder beschreven in het programma.

Het eerste ontwerp is met TinkerCAD gemaakt. Er is een functie waarbij je designs uit TinkerCAD kan overzetten naar Fusion360. Het is niet mogelijk alle designs over te zetten. Metrische tandwielen uit TinkerCAD zijn hiervan een voorbeeld. Fusion360 heeft zijn eigen generators, die je online kan vinden, in de autoCAD store. Ze staan daar gratis of betalend ter beschikking. Zelf kan je ook zo een generator ontwerpen in programmataal; als stappenplannen met wijzigbare parameters. De metrische tandwielgenerator is toegepast bij een ander ontwerp. Verbinden van sproeibollen kan aan de hand van T-stukken, deze zijn ook ontworpen in Fusion360 en te vinden in de bestanden. Als men meerdere sproeibollen wenst te gebruiken, dan zijn deze noodzakelijk.



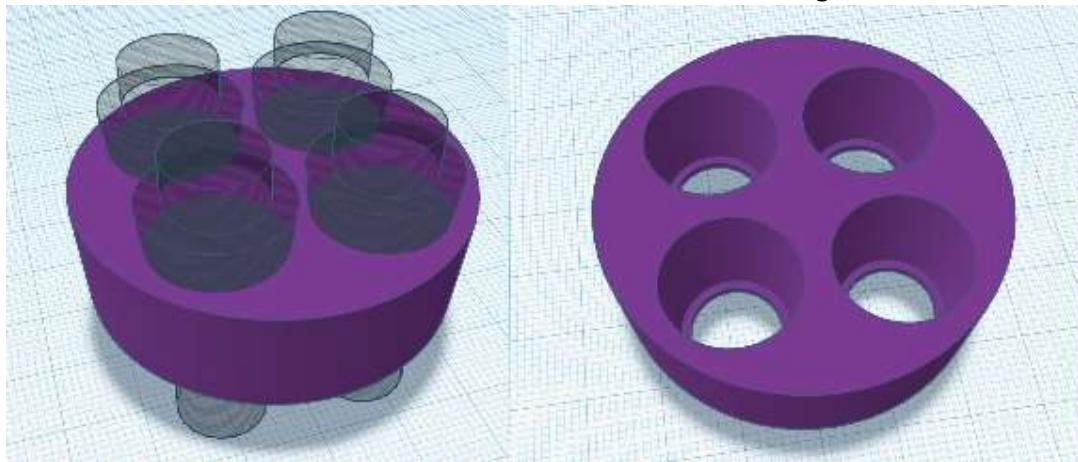
Figuur 24



Figuur 25

De behuizing voor de PWM-modulatie is een simpel doosje met daarin ruimte voor de MY-9892 en een uitbreiding met daarin ruimte voor een SG-90 servo motor. Deze zal de PWM-module aandrijven door de positie van de potentiometer te veranderen. Hierdoor is er een mechanische ontkoppeling tussen lage spanningen en de zeer lage veiligheid spannings-gedeelte van het project.

De ring is een conische cilinder met daarin 4 maal de buitenste diameter van de tuinslang. De aansluitgaten van de tuinslang beginnen 0.5mm overmaat en vernauwen over 5mm tot 0.5mm ondermaat. Er is een rand van 1mm voorzien waar de tuinslang op rust. De buitenste diameter van 50mm loopt over 10mm, 1mm conisch af, van 0.5mm overmaat tot 0.5mm ondermaat. Deze is in Tinkercad gemaakt.



Figuur 26

4.3 Onderdelen te bestellen of uit oude elektrische toestellen.

4.3.1 *De buizenventilator.*

Dit onderdeel dient om de lucht door de buizen te stuwen in de richting van het waterbad. Hier is een oude of nieuwe haardroger de beste keus; deze zijn al voor 10€ te vinden bij een elektro-winkel, daarvoor kan je de motor en ventilator niet apart bestellen en/of printen.

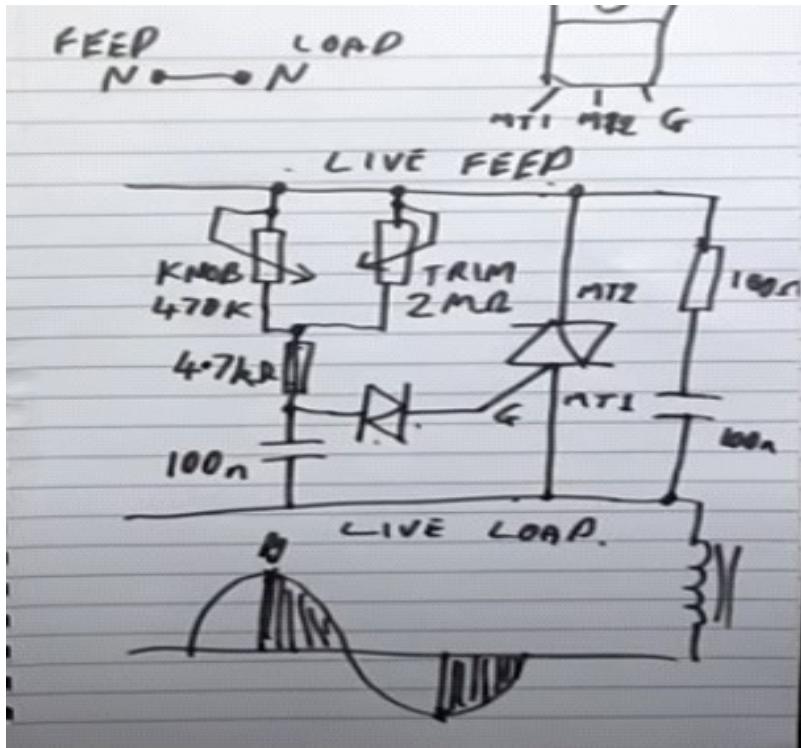
Als je deze dan openhaalt en de verwarmingselementen volledig stript, de knoppen loshaalt blijft een ventilator over. Voor de toepassing bij de controller is het best dat hier een AC motor inzit. Een dc-motor kan ook, maar dan, moet je al een haardroger vinden op 12V. De sturing is een chopper die de spanning zal afsnijden om zo een lagere algemene spanning te leveren. De dode momenten, waarbij de stroom niet geleid, kan bij een dc motor een haperingen veroorzaken. Dit geld ook voor een seriemotor. Achteraf merkte ik, dat er meer trillingen zijn als de motor op lagere toeren draait.

Er is een bepaalde hoeveelheid minimum spanning nodig om de motor te doen starten. De motor heeft het traagheidsmoment, de wrijvingen van de lagers en de wrijving van de koolborstels te overwinnen. De krachten die deze motor moet overbruggen zijn niet zo hoog. Eens gestart blijft deze wel draaien. Er dient wel een groot genoeg veld te ontstaan in de polen-wikkelingen, zodat er een ankerreactie ontstaat door het geproduceerde veld. Wanneer de veldsterkte te laag is zal de motoren "stallen" (niet draaien of heen en weer wiegen). De wikkelingen kunnen hierbij doorbranden. De fabrikant bepaalt een minimumspanning die nodig is voor de motor.

Dit valt te bereken aan de hand van het aantal wikkelingen en de positie van de wikkelingen, alsook de poolwikkelingen. Het is niet de bedoeling om de motor te "reverse engineering". Dit is dit voldoende voorkennis voor dit onderzoek.

De benodigde spanning en opmerkingen komen in het hoofdstuk "Experiment met pleister & bouwstof" aan bod. Daar zal de minimum spanning worden gemeten waarbij de motor start.

Een PWM-module die via een TRIAC de spanning onderbreekt. Het schema voor deze module:



Figuur 27

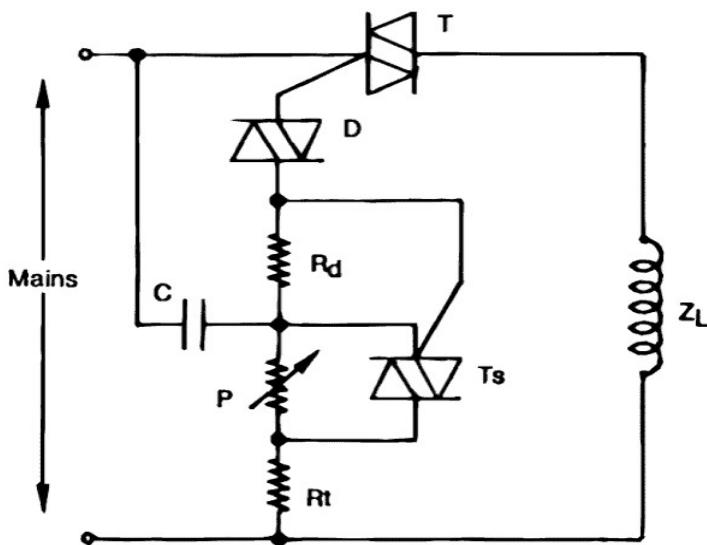
De Module zelf; MY-9892:



Figuur 28

Er zijn wel negatieve commentaren bij het gebruik van Triacs en niet zuivere ohmse belastingen. Deze zouden het net bevuilen en harmonische veroorzaken. Nu heeft deze schakeling al een oplossing voor spanningspieken, door het gebruik van een DIAC die de TRIAC in geleiding zal brengen. Hierdoor zijn stroom of spanningspieken van inductieve belastingen deels opgevangen, dit aangezien de DIAC bij een spanningspiek rapper zal geleiden en dus ook de TRIAC. Ter bescherming van de elektronica van een afwijkende sinus op het net of een inductieve stroom of spanning die na-ijlt op de motor. Het snubbenetwerk, die parallel is geplaatst met de TRIAC, vangt dit deels op.

Een schema om harmonische spanningspieken, niet te versterken en tegelijk te hoge blokkeerspanningen aan de poorten van de TRIAC te vermijden:



Figuur 29

Er wordt een tweede kleine TRAIC "Ts" parallel over potentiometer "P" geplaatst. Deze zal gedurende de positieve of negatieve beweging van de sinus, de laadtijd van de condensator verminderen. Dit omdat de Potentiometer "P" dan overbrugd is.

Zodra TRIAC "T" inschakelt, door de spanning en stroom die door weerstand "Rd" vloeit, zal ook TRIAC "Ts" bekraftigen. De overbrugging zorgt dat de condensator "C" sneller oplaat en onlaadt. Hierdoor stuurt Condensator "C", gedurende de aantijd, meerdere pulsen naar TRIAC "T" en TRAIC "Ts" om terug te initialiseren. Als het door een harmonische, of een inductieve spanning van de motor commuteert, worden de beide TRIAC's terug bekraftigt door zo een puls.

Dit schema is te danken aan "SG-thomson"

https://www.st.com/content/st_com/en.html

En terug te vinden op de website: <https://www.thierry-lequeu.fr/data/AN308.pdf>

4.3.2 Buizen, leidingen, behuizingen en kleppen

Als ventilatie buizen is gekozen voor PVC buizen, welke ter beschikking waren bij de zelfbouwmarkt om de hoek. Deze onderdelen zijn goedkoop en weersbestendig. Als luchtleiding kan een tuinslang met interne diameter ½ " of 1.27mm dienen, het overschot +-10m is nog ruim voldoende voor het "dakterras" te besproeien.

De behuizing voor het water is een bak met deksel in PP-R. Te vinden in de IKEA onder de naam SAMLA 22L met afmetingen 39x28x28. PP-R is polypropyleen met random copolymer. Het is geschikt voor HVAC-toepassingen. Met een dikkere wanddikte kan het 15 bar, gedurende 50 jaar, bij temperaturen van 20°C aan. Dit wordt toegepast bij gedwongen afvoer van grote appartementen en kantoren. Voor deze dozen zijn deksels om ze stapelbaar te maken. Ook zijn er dekselklemmen voor beschikbaar, deze zijn zeker nodig. Het zou kunnen dat er 1.5 bar druk door de haardroger wordt gestuwd. Ook dient nagegaan te worden hoe luchtdicht alles is. In de voeg van de dekselrand kan een luchtdichte schuimband geplaatst worden om goed af te sluiten, of een andere vorm van dichting zoals een siliconen (iets permanent, dit kan als heel de installatie is uitgewerkt).

Een ijs-doos of de SAMLA 5L met afmetingen 28x19x14 zal als opvang dienen voor de eerste trap. Een buis die in het watergedeelte komt onder het waterniveau, zorgt voor een scheiding van beide lucht zones. Bij het spoelen zal dan de sproeibol in deze doos ook de stofdeeltjes wegspoelen. Zodat ook hier de opgevangen deeltjes in het watergedeelte terechtkomen en verwijderd worden.

Dit gebeurt via de afvoerklep, dit is een lage druk klep, aangezien die het goedkoopst was. Deze is 12V DC gestuurd, maar ook verkrijgbaar op 230V AC

De magnetische waterklep die tot 8bar aan kan, die kost wat meer, en is ook zowel op 12v DC, 24v DC, maar ook 230 volt AC verkrijgbaar. Te vinden in alle vormen en maten op deze site: <https://magneetventielshop.nl/>

5 Elektrisch ontwerp en programmatie

5.1.1 *Het draadschema van de PLC en Sensoren*

Het draadschema is met KiCAD ontworpen, deze is gratis te downloaden. De versie is beperkt tot één schema met maximaal 2 pagina's. Het ontwerp kan op een pagina passen, als de symbolen verkleind worden.

Meeste elektrisch designers werken met E-plan, voor dit onderzoek heb ik gekozen een andere elektrisch CAD-programma te gebruiken. Het was de bedoeling om te vergelijken met andere elektrische CAD-programma's. Promis.e was ook een mogelijkheid, deze wordt vermeld als vereiste competentie, bij vacatures die mij interesseren.

KiCAD voelt minder intuïtief aan, het tekenen is anders dan in E-plan. De sneltoetsen zijn niet standaard. Het "grid" verdwijnt te rap bij het uitzoomen. Er is geen zwarte achtergrond instelbaar, bij het tekenen van het schema. De navigatie is niet zo uitgebreid. De verschillende lijsten met gegevens van componenten, PLC-modules, ... zijn niet voorzien of bewerkbaar in Excel. Het is niet mogelijk naar verschillende pagina's nавигировать, aan de hand van componenten. Sommige gegevens zijn in lijsten aanpasbaar, maar deze functie is vrij beperkt. Daarentegen is de Library uitgebreid, hierin merkt men de focus op PCB-design. De mogelijkheid om je eigen symbolen vlot te maken, is wel een voordeel. De Footprint functie laat toe zelf SMD-componenten te ontwerpen en toe te voegen. Tinkercad ontbrak de nodige componenten om het schema te tekenen, alsook is het toevoegen van een onderdeel is mij daar onbekend.

Fritzing had deze mogelijkheid wel, maar de routing van de draden werd automatisch gedaan. Het programma is voornamelijk gericht op de amateur tinkerer/elektronicus. De bedoeling bij dit onderzoek is ook relevante ervaring opdoen. Het zou evenveel tijd genomen hebben symbolen en componenten te ontwerpen in Fritzing . Het aanmaken van symbolen bleek even vlot te gaan in TinyCAD, deze laatste had geen footprint functie. Ik had gehoopt op een grotere functionaliteit bij KiCAD, binnen het gebruiksveld van dit ontwerp. Vandaar heb ik de voorkeur aan KiCAD gegeven.

Een zelfgemaakte PCB, waarbij de flowchart en SMD print-chart aan een fabrikant wordt geleverd, lijkt met KiCAD wel een goede optie. Daar ligt ook de nadruk, van hun CAD-software.

Het schema is te vinden in de bijlagen. Zowel als PDF, als KiCAD extensie (.sch).

5.1.2 De programmatie van de PLC

Bij de programmatie van de PLC is gekozen om te simuleren met TinkerCAD, niet alle onderdelen zijn beschikbaar. Maar hier zijn wel mouwen aan te passen, meeste zijn vervangen door primitieven of switchen. De break-out boards vervullen in het werkelijk ontwerp dezelfde functie als in TinkerCAD. Daar zijn deze door meerdere aparte sensoren of switchen gesimuleerd. SCL/I2C communicatie wordt ook niet aangeboden, maar dit gaf geen storingen bij het uiteindelijke test draaien van het programma op de Arduino. Mits kleine wijzigingen in de code wordt data van de I²C bus ontvangen en opgeslagen in desbetreffende variabele. Het gemak om code te schrijven en online te simuleren on the fly, van elke PC of laptop met minimum specificaties, gaf mij de voorkeur hierin te testen. Hier is ook heel wat geoefend om tot een min of meer volwaardig programma te komen.

Het programma zelf is opgebouwd in verschillende functies. Deze itereren in het Loop proces, meeste van de functies returnen een variabele die feedback geeft aan de andere functies of de void loop. Zo kan via de serial monitor of een lcd-scherm opgevolgd worden, welke functie actief is en in welke functie van de programmalus een fout optreedt. De debugger functie van TinkerCAD heeft de mogelijkheid om de exacte lijn aan te duiden. Hiermee kan specifiek gezocht worden naar, welke voorwaarde er zijn vervuld voor een bepaald actie die plaats neemt. Handig als er een foute logica is toegepast.

De simulatie waarin ik het grootste deel van het programma heb uitgewerkt kan u hier vinden:

<https://www.tinkercad.com/things/4yHeeJqX8RR>

5.1.3 De beleggingslijst van de PLC.

Table 2

Toestel	Functie	Benaming/nummering board	Input, Output, AnalogIn, AnalogOut
Arduino Mega2560	PLC en sturing	Arduino Mega2560	Alles
Gassensor Grove	Meting van CO2 en andere gassen zoals formaldehyde, acetone, ...	Air quality sensor V1.3	A1 : Analog Input A2 : NC, alarm, Digital In
Towerpro SG90-HV	Servomoter die de snelheid aanpast van de Ventilator en Separator	Continues 360°	D6 : PWM output
IR Proximity sensor (Geseponeerd)	Dient als terugkoppeling van de Servo motor (feedback lus)	VR1	
Relais x2 Grove	12v en 230v stuurt de aanvoer en afvoer waterkleppen.	2-channel SPDT relay v1.0	D4 : output D5 : output
PIR bewegingssensor	Meld of er een persoon in de ruimte is; mogelijkheid voor minder lawaai		D3 : Input
Buzzer/LED	Alarmtoon indien er een fout is of de lucht heel onzuiver is.		D7: Output
Stofsensor Grove	Stofmeting en PPM	Shinyei PPD 42+	D8: PWM input
Water sensor (x2)	Bovenste sensoren,	Water sensor	D39 (D41): input
(safety)Relais	230V aan of uit.		D13: output
Vlotter (x2)	Het waterniveau		D43 (D45): input
LDR	Lichtsensor vervuiling		A3: input

5.1.4 Libraries

Dit zijn toevoegingen van een verwerkt algemeen programma. Dit dient als standaard bij bepaalde sensoren. Het laad de nodige variabelen in, om met het bord te communiceren. De analoge waarden worden hierin omgezet van ruwe data in meer bruikbare waarden, die verstaanbaar zijn voor de eindgebruikers. I²C functies kunnen ook zo uitgebreid worden met verschillende componenten, om zo standaard code niet steeds te hoeven herschrijven. Deze moet je eerst downloaden van een erkende locatie.

Table 3

wire.h	Dit bevat alle communicatie beginselen van het protocol alsook toewijzen van de adressen.
LiquidCrystal_I2C.h	Dient om een Lcd-scherm aan te sturen via I ² C
Arduino.h	Is een standaard van Arduino, dit zit standaard in de IDE vanaf versie 1.0
AirQuality.h	Deze is beschikbaar gesteld door Grove en Seeedstudio, te vinden op Github; v1.0.1 is gebruikt in
Servo.h	Dit is om servo's aan te sturen met hoekgraden ipv in milliseconden
SPI.h	Serial Peripheral Interface, data communicatei voor I ² C
Adafruit_BMP280.h	Dit om de druk, temperatuursensor te gebruiken en metingen hiermee te doen.
Adafruit_BusIO_register.h	Extra opties voor I ² C connective met BMP280
Adafruit_I2CDevice.h	Extra opties voor I ² C connective met BMP280
Adafruit_I2CRegister.h	Extra opties voor I ² C connective met BMP280
Adafruit_SPIDDevice.h	Extra opties voor I ² C connective met BMP280

6 Prototype

6.1 Onderdelenlijst en kost van het eerste ontwerp .

Alle geprinte onderdelen staan beschreven in hoofdstuk 3, in totaal zijn er minimaal 5 onderdelen nodig. De .STL files alsook de Fusion360 files zijn beschikbaar via in de map met bestanden.

Twee doorzichtige dozen met deksels die de doos goed afsluit, zonder zij-openingen. De transparante eigenschappen geven een duidelijker zicht, bij het bepalen van het initiële/ideale water niveau. De locatie van de water niveau sensoren kan men hier dan op afstemmen.

Hier een opsomming van alle onderdelen en basismateriaal, onderdelen in paars zijn optioneel:

Table 4

Nr.	Benaming	Beschrijving en leverancier	Eenheidsprijs	Aantal	Kostprijs
1	MY-9892	Spanningsregelaar; Aliexpress	4,38€	1	4,38€
2	PVC 3mx40mm	Afvoerbuis; doe-het-zelfzaak	9€	1	9€
3	PVC 40mm bocht 90°	Bocht met aansluitingsmof voor pvc buis; doe-het-zelfzaak	4€	2	8€
4	PVC 40mm T-stuk	T-stuk voor PVC buis 40mm; doe-het-zelfzaak	5€	2	10€
5	Calor iconic	Haardroger 2dehands; ex-lief	0€ (10€ in winkel)	1	0-10€
6	Tuinslang OK	Rode gewapende tuinslang 15m; Gamma	10€	1	10€
7	Arduino Mega 2560	Originele Arduino; arduino.cc Namaak Arduinog; tinytronics, aliexpress	35€ (al vanaf 10€)	1	35€
8	USB-Printerkabel	Oude printerkabel voor programma in te laden; thuis	0€	1	0€
9	Relais 5v board	Relais die 230v/10A kan schakelen; tinytronics, kewtronics, elektronicaawinkel.nl, aliexpress	2,5€ (al vanaf 1€)	3	7,5€
10	vlopperschakelaar	Deze mogen ondergedompeld worden; hobbyelectronica.nl	10€ (al vanaf 5€)	1	10€
11	DUPOMF20	Jumperkabels male – female 10 stuk; hobbyelectronica.nl	0,75€	2	1,5€
12	DUPOMM20	Jumperkabels male male 10 stuk,	0,75€	2	1,5€

		hobbyelectronica.nl			
13	HC-SR501	PIR-bewegingssensorboard; hobbyelectronica.nl	2,4€	1	2,4€
14	GRV-DUST	Stofsensor Grove; reichelt.com	11,74€	1	11,74€
15	GRV-air quality	MP503 sensor detecteerd verschillende gassen; reichelt.com	9,35€	1	9,35€
16	Joy-IT BMP280	Temp/barometer sensor i2c; reichelt.com	3,89€	1	3,89€
17	Sg90-continues	Microservo towerpro, 360° ; hobbyelectronica.nl	4,95€	1	4,95€
18	GRV-baseshield	Grove connector shield die bovenop de arduino past; reichelt.com	4,47€	1	4,47€
19	GRV-cable	Een set van 5 Grove kabels; reichelt.com	3,5€	1	3,5€
20	LCD-joy-IT	Uitlezen serial monitor; kiwitronics	9,5€	1	9,5€
21	MH-Real-Time	Clock module voor tijd en dag te programmeren; Reichelt	1,42€	1	1,42€
22	12V voeding	12v voeding 2A; telenet modem,..	0€	1	0€
23	5V voeding	USB oplader gsm 2A; oude gsm	0€	1	0€
24	LCD i2c	LCD schermen die niet werken; hobbyelectronica.nl	3€	3	9€
25	Afvoerklep	12V waterklep, max 0,8 bar; aliexpress	3,6€	1	3,6€
26	Toevoerklep	230v waterklep max 8 bar; tameson.nl	13,90€	1	19,35€
27	UV-Resin	UV-resin voor een DLP printer 1kg; anycubic.com	50€	1	50€
28	Kabelschoenen	Set kabelschoenen, geel, blauw, rood (afhankelijk welke draadsectie gebruikt wordt) met tang; Action	4€	1	4€
29	soldeerterin	Soldeerterin met flux; eleshop.nl	10€	1	10€
30	Samla 39x28x28	Doos en deksel; Ikea	4,99€	1	4,99€
31	Samla 28x19x14	Doos en deksel; Ikea	1€	1	1€
32	Samla sluitklem	Sluitklemmen samla deksel, 4 stuk; Ikea	0,5€	2	1€
33	TEC-7	Polymeerlijm/kit; doe-het- zelfzaak	11,39€	1	11,39€

34	Rubber verbinding 40-55mm	Een ronde dichting die gebruikt word bij afvoerbuizen, doe-het-zelf-zaak	4€	1	4€
35	M/M ½" koppeling	Een vebindungstuk mag in messing of staal	2€	1	2€
36	UV-lamp	Tegen bacterievorming	10€	1	10€

Het totaalbedrag komt voor dit eerste model op 272,71€ zonder verzendkosten. Elektriciteitskosten, werkuren en verplaatsingskosten worden niet in rekening gebracht.

In dit onderzoek zijn voor componenten van gekende merken gekozen. Deze zijn duurder, maar bieden meer bedrijfszekerheid en kwalitatieve metingen. Een UV-resin printer heeft een zeer gedetailleerde print maar het printmateriaal is ook duurder dan een FDM-printer. De prijs is zeker te drukken onder 200€ maar dan moet je al scherpe deals kunnen slaan of rechtstreeks uit China importeren en namaak niet schuwen.

6.2 Voorbereidende Bewerkingen in de werkplaats

6.2.1 *De haardroger.*

Het handvat is verwijderd door middel van een ijzerzaag, zodanig dat de haardroger kan balanceren op de blaasmond. De knoppen verwijderd, alsook het verwarmingselement.

Het hitte-element verwijderen is een minder eenvoudig taak. Hiervoor zijn goede handschoenen, geduld en een kniptang verreist. Pas op de draden zijn zeer scherp! Er is een grote kans dat de behuizing beschadigd wordt tijdens het proces.

Aan de binnenzijde van de behuizing zit een soort van hitteschild dit kan verpulveren en levert heel veel stofdeeltjes. Voor dit experiment heb ik enkele uren al dit glitter grondig verwijderd om zo weinig mogelijk afwijkingen te hebben op de testresultaten. Met het verwarmingselement verwijderd kan de volle kracht van de ventilator benut worden. Op termijn zouden de draden voor obstructie kunnen zorgen en afname van stuwwerkt. Dit wordt, bij thuisgebruik en weinig ervaring, afgeraden.

6.2.2 *De Ikea dozen.*

Er zijn voorzichtig in een cirkel van Diameter 50mm gaten geboord in het deksel om deze verder uit te frezen. Tijdens het aanpassen is een deksel stuk gegaan. PP-R blijkt relatief broos te zijn en zal gemakkelijk splinteren of scheuren. Een gatenboor met diameter 50mm en lage snelheid bij het boren zijn aangeraden.

Verder zijn ook klemmen nodig voor het bevestigen van het deksel met de doos zelf. Deze zijn beschikbaar bij Ikea zelf, maar waren uitverkocht. Enkele lijmklemmen of een paar stevige wasknijpers kunnen als vervangen gebruikt worden.

Bij het testen is ook naar voor gekomen dat het opborrelende water heel wat verlies veroorzaakt bij het ventilatie gat waar de separator komt. Een holle buis met grotere diameter leidt het bubbelende water terug in de doos. Deze wordt op de doos gelijmd.

6.2.3 *De aanvoerslangen van de cycloonfilter*

Een tuinslang diende voor de beweegbare leiding van de cycloonfilters hun afvoer richting de ventilator. Deze werd ingekort met 4 stukken van 400mm.

6.2.4 *Solderen en elektrische componenten uitmeten*

Meeste componenten kunnen worden verbonden worden met Dupont jumpers of Grove kabels.

Enkel de vlotter diende de draden vertind te worden of verlengd met een mannelijke jumper kabel. Door Dupont jumper kabels aan Grove kabels te solderen, kan makkelijk ontkoppeld worden bij het testen van de code. Het bleek ook toepasselijk bij het uitzoeken van stroomverbruik, het geheel aan sensoren kan een spanningsval over de Arduino veroorzaken afhankelijk van de voorziene stroombron. Dit bleek een

probleem bij het goed functioneren van de Arduino en de ingevoerde data en code. Als dit onder 2,7 volt gaat kan de Arduino het ingeladen programma niet meer correct verwerken.

Een 2A lader bleek voldoende voor alle componenten, een 1A lader leverde heel wat ergernissen op. Dus kunnen we ervan uitgaan aan 5V en 2A dat het gehele van automatisatie ongeveer een 10 watt verbruikt

De afslaat en toevoer kleppen dienen voorzien te worden van AMP-kabelschoen genepen op een soepele draad, deze zijn te koop bij de Hubo of Action en elke autohandel.

6.2.5 Printen

Enkele onderdelen zijn geprint geweest met een resin printer. De laagdikte was ingesteld op 0.01mm bij de eerste. Dit leverde een gedetailleerde print op. De printtijd was wel heel hoog rond 12u. Eerst zijn de mixers geprint bij de tweede maal heb ik de instellingen gewijzigd naar 0.05mm layer-hoogte om te twee prints met elkaar te vergelijken. Het uiteindelijk resultaat was iets ruwer, met 4u printen. Met het blote oog is het verschil bijna niet waarneembaar. Enkel bij een scherpe helling zoals bij de cyclonen was het zichtbaar dat dit een digitaal kopie is van een vector tekening. De pixels zijn ook maar tot 0.1155mm nauwkeurig. Bij een hellende rand van verticale stukken zie je een "scherpe" zaagtand. Voor de luchtstroom kan hierdoor meer verliezen optreden bij het botsen tegen die rand. De motor die gekozen wordt, moet voldoende vermogen hebben. Het water waterniveau zal veel meer weerstand geven dan de leiding verliezen, dus bij deze is dit verwaarloosbaar en print ik verder met 0.1mm layer-hoogte om zo de printtijd te drukken. Een DLP-printer heeft het voordeel dat in de breedte plaatsen geen extra tijd vergt. De enige factor die snelheid bepaald is de hoogte.

Na enkele geslaagde prints heb ik meerdere componenten op hetzelfde printbed geplaatst. Na 2 afwijkende prints heb ik bij sommige componenten supports of een printgrond voorzien. Dit omdat 2 verbindingstukken tijdens het printen verloren gingen in de vloeistof met als gevolg een ander onderdeel die beschadigd was. De oppervlakte die de verbindings-onderdelen met het printbed verbond was niet voldoende. Tijdens het print-proces gaat het printbed op en neer, en sommige lagen kunnen aan de FEP-film kleven, als de oppervlakte groter is dan de basis aan het printbed komt die los aan het printbed. De film dient om de UV-verlichting door te laten maar ook als opvang voor het te nog verwerken resin. Deze heeft een stand tijd van maximaal 50 prints, daarna komen micro-deeltjes van de resin over de oppervlakte verspreid. Duidelijk zichtbaar wordt de film mat na veel prints.

6.3 Assemblage

Meeste van de onderdelen zijn op maat gemaakt en passen hierdoor eenvoudig in elkaar.

6.3.1 Meten van benodigde lengtes

Eerst worden afgemeten hoe de onderdelen in de doos te plaatsen zijn, afhankelijk van welke doos gebruikt wordt. Om gelijkaardige resultaten te halen is het best deze instructie te volgen, als de lengtes van de dozen niet ter beschikking zijn kan hiervan afgeweken worden.

6.3.2 Instructie

De 40mm diameter PVC-buis dient te worden ingekort met een ijzerzaag of slijpschijf. Er zijn 3 stukken nodig voor verbindingen tussen de andere koppelstukken en de ventilator. Namelijk:

De Cyclonen heb ik op het deksel proberen schroeven, maar PP-kunststof is iets te broos om met schroeven te werken. Het geheel is erop gelijmd met TEC7 polymeerlijm. Laat de lijm genoeg uitharden vooraleer aan de volgende stap te beginnen.

De $\frac{1}{2}$ " tuinslang past gemakkelijk over de in te draaien koppelstukken die bij de cycloon zijn verwerkt. Hier kan nog een spanband of spanklem gebruikt worden om dit steviger te verbinden zodat bij verplaatsing deze niet loskomen, TEC7 zou ook kunnen dit zorgt voor een luchtdichte afdichting.

De dichtingsrubber kan geplaatst worden in het andere deksel, zodat hier dan de blaasmond van de ventilator inpast.

De Pvc-buizen vormen een drietand, met op elke uiteinde een bocht 90° gebogen in de richting van de vrije ruimte in de doos. Het T-stuk dient in dezelfde richting gepositioneerd worden. De buis past in de dichtingsrubber en, afhankelijk van welke haardroger je ter beschikking hebt, ook in de ventilator.

Deze Pvc-verbindingsstukken schuiven gewoon in elkaar. Er kan Pvc-lijm gebruikt worden om een starre verbinding te creëren. Polymeerlijm is weerbestendig en kan als alternatief dienen voor de Pvc-lijm. Houd wel rekening, dat bij heel lange onderdompeling deze ontbindt.

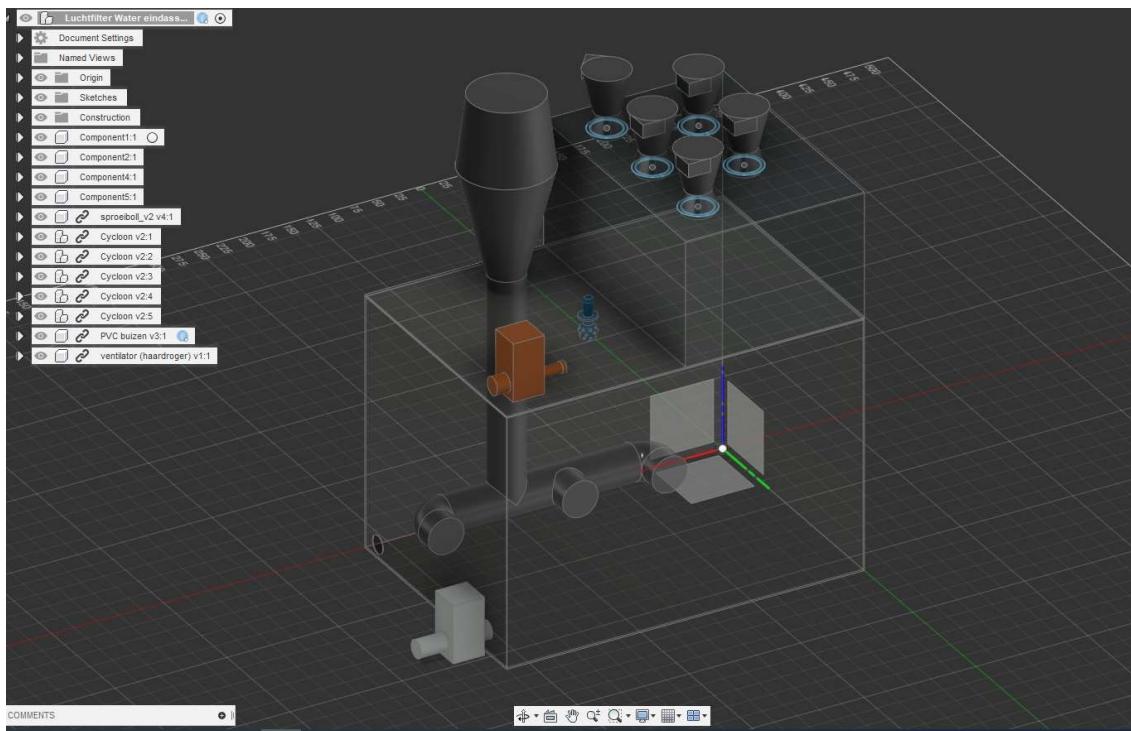
De ventielen dienen nog te verbonden worden, de een met de sproeibollen en de andere met de doos. Beide hebben een $\frac{1}{2}$ " gasdraad aansluiting, hier kan je dan een aansluiting van een tuinslang op plaatsen voor een tijdelijke of verplaatsbare opstelling. Bij het magneetventiel van de sproeibollen dient een stuk tuinslag afgesneden te worden. Deze wordt bevestigd met een spanklem of sterke spanband op de tuit van het ventiel en het cilindrische gedeelte van de sproeibol. Eerst nog de

gaten boren in het deksel voor het aantal sproeibollen. Wordt er voor meer dan één sproeibol gekozen, is er meer tuinslang nodig en moeten de T-stuk verbindingen afgeprint worden. Voor de eenvoud is er gekozen voor één te gebruiken. Mocht dit achteraf onvoldoende blijken kan, dit nog eenvoudig uitgebreid worden.

Voor het onderste ventiel is een male/male $1/2"$ verbindingsstuk nodig met een draad tot aan de kraag. Liefste ook een model met dikke kraag. En een dichtingsrubber die tussen de doos en het ventiel komt. Dit kan een stuk EPDM zijn agetekend met de passer met een gat van diameter van 12.6mm. probeer dit mooi uit te snijden met een stanleymes of scalpel. De afmeting is een beetje onder-gedimensioneerd zodat die zeker goed afdicht. Indien nodig kan er nog verder afdicht worden met de polymeer-lijm.

Uit veiligheidsovertuiging heb ik lange kabels gebruikt voor de elektronica alles onder 2m zal geen merkwaardige spanningsval veroorzaken voor 5v componenten. Er kan geopteerd worden nog een 2^{de} doos bij te plaatsen om deze in te plaatsen met uitzondering van de gassensor en de stofsensor voor deze kan er nog een omhulsel ontworpen worden. Er moeten gaten in de "elektronicakast/doos" worden geboord voor wartels. Zodoende de PCB's te beschermen tegen vocht en hopelijk corrosie.

Draden worden gesoldeerd of met wago-klemmen verbonden, op korte afstanden kunnen de Jumpers gebruikt worden.



Figuur 30

7 Experiment met pleister & bouwstof

7.1 Testopstelling

Een bepaalde hoeveelheid stof wordt geplaatst in afgesloten container. De toevoer wordt deels afgesloten worden zodat er luchttoevoer voldoende is en geen vacuüm ontstaat. Het is de bedoeling dat er geen stofdeeltjes zich uit de testomgeving kunnen verplaatsen.

Hier maak ik gebruik van een as filter van een stofzuiger. De container is afgesloten met rubber-dichtingen. De binnenkant is verchroomd metaal, de gladde structuur zorgt voor minder adhesie van stofdeeltjes. Via een stofzuigerdarm wordt dit in de ventilator en de rest van de luchtzuiveraar geïntroduceert.

Voor medium wordt een hoeveelheid van 150 gram pleister en bouwstof in de container geplaatst. Elke 15 minuten agiteert een persoon de container zodat het op de bodem gedwarrelde stof terug in de luchtstroom komt.



Figuur 31

De Container met darm wordt afgewogen in droog, de nauwkeurigste weegschaal die dit gewicht kan wegen is tot op een gram nauwkeurig, overgebleven stof resten zullen het gewicht verhogen. Bij het afwegen na een aantal uur.

De luchtzuiveraar zijn gewicht wordt opgemeten om mogelijke resten die niet samen met het water verwijderd worden in rekening te brengen en te noteren. Het water en wordt voor het experiment afgewogen en in de luchtzuiveraar geplaatst.

Het vermogen zal vastliggen op verschillende percentages. Dit om te bepalen of het vermogen voldoende luchtzuivering genereerd en vanaf welke er een HEPA-graad behaald wordt. De Test gebeurt aan 100% vanaf dat het vermogen onder 25% zakt blaast de ventilator geen lucht meer in het water en kan het de waterkolom niet meer overwinnen. Ervan uitgaande dat indien zicht zoveel stof in de ruimte bevindt dat de luchtzuiveraar toch aan 100% zal werken. Dit dient Gewijzigd te worden in het programma; als minder dan 25% vermogen nodig is, dient de safety relay uit te schakelen.

7.2 Eigenschappen luchtuiveraar

7.2.1 Stuwkracht Ventilator

Een transparante 2" waterdarm met binnendiameter 4,5 gevuld met 4,5l water is opgehangen in een u-vorm. Deze diende als manometer om de effectieve kracht te berekenen van de ventilator.

De blaasmond van de ventilator is luchtdicht verbonden met het linkerdeel van de waterdarm door een Duck tape bevestiging. In het rechter gedeelte is enkel atmosferische druk aanwezig.

Volgens Wet van communicerende vaten moet dit in evenwicht zijn.

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{vl}}$$

De Druk van de vloeistof kan je uitschrijven en wordt de vergelijking

$$P_{\text{vl}} = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot V / A$$

$$P_{\text{vl}} = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h \cdot A / A \quad (\text{volume is de hoogt maal het oppervlakte})$$

$$P_{\text{vl}} = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h$$

Als we de vergelijking opstellen van beide kanten van de buis met de druk van de vloeistof uitgeschreven

$$P_{\text{atm}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h$$

Hier is de buis in evenwicht, vanaf dat de ventilator aan staat levert die een extra druk op linkse zijde en merken we een hoogteverschil met de andere zijde.

$$P_{\text{vent}} + P_{\text{atm}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$P_{\text{vent}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$P_{\text{vent}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_2$$

$$P_{\text{vent}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_2$$

$$P_{\text{vent}} + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_1 + \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_2$$

$$P_{\text{vent}} = \rho_{\text{vl}} \cdot g \cdot h_2$$

Bij de meting werd een hoogteverschil gemeten van 20cm

Vul je dit in de vergelijking in. Samen met ρ_{vl} van water = 0,998kg/dm³ en $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$P_{\text{vent}} = 998 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,2 \text{ m}$$

$$P_{\text{vent}} = 1958,076 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{vent}} = 0,01958 \text{ Bar}$$

Of anders verwoord, 20cmH2O

Dus kan de druk die de ventilator levert tot maximaal onder 20 cm water blazen.

Nu vermindert dit met de openingen van de mixers, het oppervlakte die stijgt waaruit de lucht blaast is omgekeerd evenredig met de druk zelf.

Met name Hoe groter de oppervlakte hoe lager de druk. De mixers hebben ongeveer dezelfde openen als de ventilatormond maar deze zijn drie maal gebruikt dus moet het aantal cm delen door drie om functioneel te zijn dit betekend dat bij 3 mixers dat

deze maximaal 6,65cm onder het water niveau mogen komen, gemeten van de onderkant. Hierdoor heb ik dit herzien naar 2 mixers die dan

7.2.2 Verbruik ventilator en sturing

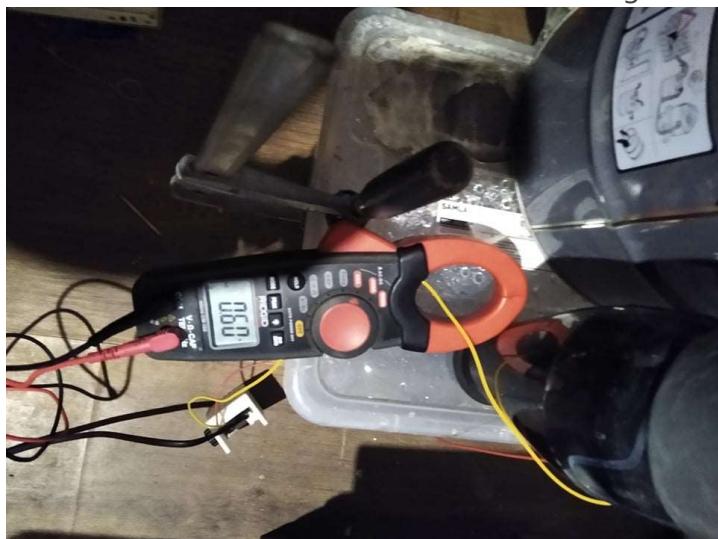
Aan 100% vermogen of 230 volt die gemeten wordt op de ingang, meet ik met de ampèretang een 0.6A tot 0.59 stroom dit is omgerekend een 138 Watt dat de ventilator verbruikt.

Bij 75% blijft het verbruik ook rond 0.5A, dit is aan 210V en totaal 105Watt

Vanaf 50% daalt dit naar 0.34A, aan 150V, een totaal van 51 Watt

De Arduino en al zijn componenten zitten aangesloten op 5v max 2A en dit is voldoende om alle componenten te voorzien van stroom. Omgerekend is dit een 10 Watt

Het totaal verbruik van de luchtuiveraar is ongeveer een 150watt piek



Figuur 32

7.2.3 Geluidsmeting

Er zijn enkele metingen gebeurt op verschillende afstanden en verschillende standen.

Voorafgaande metingen van het geluid was 30dB gemiddeld op alle plaatsen

Table 5

Afstand/vermogen	50% vermogen	75% vermogen	100% vermogen
1 m	62dB	65dB	71dB
1,5m	46dB	58dB	55dB
3m	45dB	50dB	54dB

7.3 Waarden droge meting test-opstelling

Table 6

	Voor test
Darmen tuinslang	120g
Doos waterfiltratie	695gr
Deksel	221gr
Ventilator	569gr
Deksel met cyclonen	260gr
Doos Cyclonen	222gr
PVC buizen en mixers	323gr
Doos voor stof	1321gr
Bouwstof en pleister	419gr
Water	6799gr

7.4 Test 1

Voor het starten van de test zijn de koppelingstukken, die tuinslang met de cycloon verbindt afgebroken. De cyclonen zijn uitgeboord om daar dan de darm in te plaatsen. Bij het uitboren is een cycloon gebroken en kan dit element niet meer goed gebruikt worden. Bij vorige testen in gewoon stoffige ruimtes tijdens het verbouwen was het ook al opgevallen dat de cycloonfilter niet veel zuiverde, telkens ik deze proefdraaide bleek het opvangbakje leeg te zijn. In een gewoon huis wordt geplaatst lijkt het met overbodig. Er kunnen nog wijzigingen worden uitgevoerd op de tekening om deze beter te maken, de reductie van het model tot 35% van zijn oorspronkelijke grootte is waarschijnlijk ook een reden dat deze cyclonen vrij breekbaar zijn. Nu kan het ook dat de resin niet het geschikte materiaal is voor deze toepassing.

Bij het heel hard opgooien van de doos zag je dat fijn stof doorheen de filter blaast Tijdens het testen stond de stofmeter metingen uit te voeren en de ook de BMP280, daar merkte ik een stijging van luchtvochtigheid.

De test was gedurende 4u om te zien hoeveel er gedurende die tijd wordt gezuiverd.

7.4.1 Resultaten Test 1

Table 7

	Voor test	Na test	Verschil	Bestanddeel verschil
Darmen tuinslang	120g	120gr	0gr	
Doos waterfiltratie	695gr	712gr	+17gr	Water+stof
Deksel	221gr	226gr	+5gr	Water+stof
Ventilator	569gr	570gr	+1gr	Stof
Deksel met cyclonen	260gr	260gr	0gr	
Doos Cyclonen	222gr	22gr	0gr	
PVC buizen en mixers	323gr	338gr	+15gr	Water+stof
Doos voor stof	1321gr	1718	+397gr	Stof
Bouwstof en pleister	419gr	0gr	-419gr	stof
Water	6799gr	6541	-258gr	Water+stof
Totaal	10949gr	10707gr		

7.4.2 Bevindingen Test 1

Er is een deel van het water verdampt tijdens het proces, wel is opgevallen dat dit meer is dan verwacht, aangezien er ook stof in het water zat dus dat het water meer zal wegen door het extra stof die is toegevoegd. Visueel is wel zichtbaar dat de infiltratie plaats neemt. Maar tijdens het zuiveren is minimum 200gr water verdampt.



Figuur 33

Het verschil van stof die aanwezig was in de doos en wat er in de lucht is geïntroduceerd is het verschil tussen bouwstof pleister en het extra gewicht in de container plus het extra gewicht in de ventilator.

$$419\text{gr} - 397\text{gr} - 1\text{gr} = 21\text{gr}$$

Deze 21gr is dus opgenomen in de luchtzuiveraar. Maar het is niet geheel duidelijk hoeveel hiervan in het water is opgenomen

7.4.3 Stofmetingen ruimte

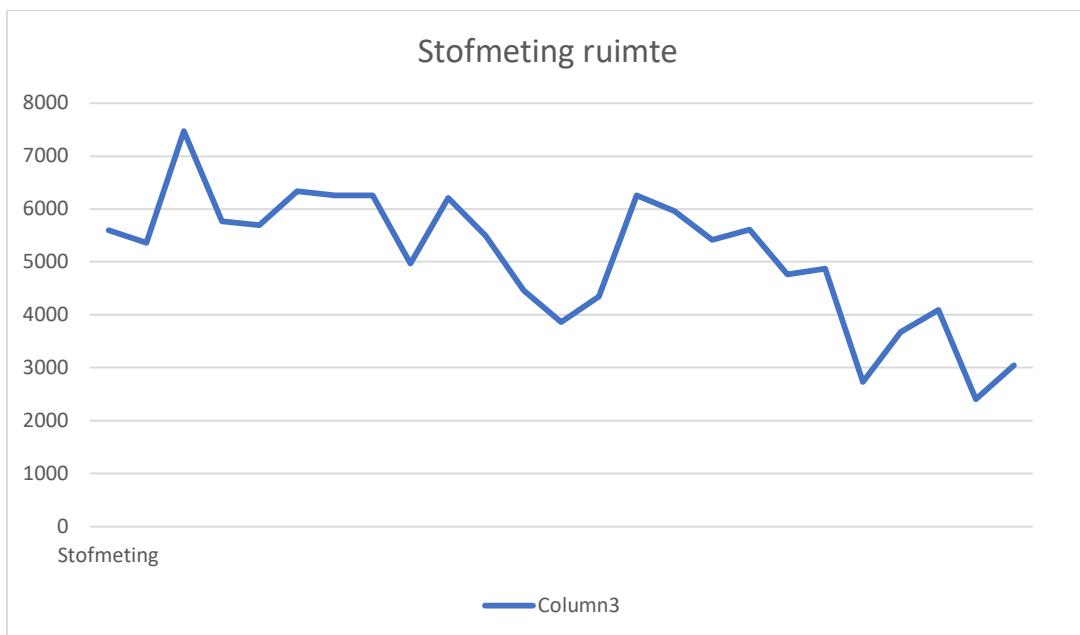
Stofmetingen gedurende 4u dat de luchtzuiveraar werkte met een interval om de 10 minuten

Table 8

Low occupancy	Ratio	Concentratie	Duration
2874153,9	9,58	5600,99	0
2776636,9	9,29	5360,07	10
3560382,11	11,87	7475,46	20
2941211	9,8	5770,06	30
29123111	9,71	5696,85	40
3155768,1	10,52	6330,53	50
3129092,1	10,43	6259,17	60
2563762,8	10,43	6259,17	70
2612395,8	8,71	4966,97	80

3110519	10,37	6209,78	90
2832319	9,44	5496,93	100
2391007	7,97	4460,54	110
2112058	7,04	3857,01	120
2340646	780	4348,86	130
3128512	10,43	6257,63	140
3017017	10,06	5964,62	150
2800961	9,34	5419	160
2879202	9,6	5613,62	170
2525218	8,42	4764	180
2571552	8,57	4871,58	190
1546465	5,15	2730,68	200
2024503	6,75	3674,76	210
2223859	7,41	4094,57	220
1371520	4,57	2403	230
1711070	5,7	3046,27	240

Uitgezet op een grafiek zie je werkelijk een dalende trend van het aantal stofdeeltjes in de lucht. De pieken kunnen veroorzaakt zijn tijdens het schudden met de doos



8 Besluit

Een deel van het stof kan gefilterd worden aan de hand van mechanisch filterelement. Er zal nog verder onderzoek hoeven te worden uitgevoerd om dit beter in kaart te brengen. Het automatiseren van zulke systemen zijn zeker een stap in de goede richting om de planeet niet uit te putten van grondstoffen maar het steeds recycleren voor een circulaire economie.

Enkele minpunten is dat er verlies van water is dat verdampt. Dit wast te merken omdat de luchtvochtigheid steeds tijdens de testen. Deze luchtvochtigheid zorgde wel voor zuiverdere lucht in de omgeving. Andere onderzoeken komt ook tot dergelijke besluiten, het is mogelijk met weinig energieverbruik een continue zuivering van lucht te veroorzaken.

Bij Volgende proeven kan gebruik gemaakt worden van gedemineraliseerd water. Zodanig de droogresten hiervan of te kunnen wegen om het verschil te berekenen.

9 Bibliografie

Toegepaste Mechanica deel 1 & 2

A. Verruijt

Pompen en Compressoren

Marc Borremans

Elektronische vermogencontrole 1: Schakelaars en convertoren

Jean Pollefliet

PLC Controls with Structured Text (ST) IEC 61131-3 and best practice ST programming

Tom Mejer Antonsen

<https://www.cultureelwoordenboek.nl/psychologie-en-sociologie/empirisch-ondezoek/>

<https://verstraten-elektronica.blogspot.com/p/433-mhz-communicatie.html>

<https://www.electroschematics.com/433mhz-rf-sniffer/>

<https://www.tinkercad.com/>

<https://bestengineeringprojects.com/interfacing-optocoupler-with-arduino/>

<http://img.banggood.com/file/products/20171225211906Schematic-MOSFETRelay.pdf>

<https://wwwENCYCLO.nl/begrip/stof#:~:text=%5Bscheikunde%5D%20%2D%20Met%20stof%20wordt,anisotroop%20als%20isotroop%20kunnen%20zijn.>

<https://pdf.directindustry.com/pdf/polrich-dlk-ventilatoren/datasheet-aanm01/60166-393289.html>

<https://www.climaconstruct.be/documents/technische-info/05-ventilatoren.pdf>

<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=332305.0>

<https://www.youtube.com/?gl=NL> HYPERLINK "https://www.youtube.com/?gl=NL&hl=nl"&HYPERLINK "https://www.youtube.com/?gl=NL&hl=nl" hl=nl

<https://www.saelens-bvba.com/venturi-injector/>

<https://pixnio.com/nl/landschappen/dauw/regen-dauw-blad-druppel-natuur-regendruppel-nat-macro>

<https://www.vermolen-ego.nl/nl/producten/otto-chemie/otto-chemie-toebehoren/6510518statische-menger-voor-side-by-side-koker/>

<https://www.thierry-lequeu.fr/data/AN308.pdf>

<https://www.leverkunststoftechniek.nl/abc-register/p/polypropeen-eigenschappen/>

https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Air_Quality_Sensor_v1.3/

https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Dust_Sensor/

<https://github.com/>

Research, Published: March 1968

Circulating water in systems for the wet purification of air from dust

F. S. Goncharov & A. M. Levin

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01295422>

Semi-outdoor filterless air purifier for smog and microbial protection with water purifier system

Author links open overlay panel Arnon Jumlongkul LL.B., LL.M., M.D., Dip.

MATEC Web of Conferences 117, 00142 (2017)

Design features of vortex dust collectors

Svetlana Puring, Denis Vatusov* and Nicolay Turin

https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/31/matecconf_rsp2017_00142/matecconf_rsp2017_00142.html

[Europese Norm 1822:2009 van de Europese Unie](#)

PEPT: An invaluable tool for 3-D particle tracking and CFD simulation verification in hydrocyclone studies

May 2013; Yu-Fen Chang, Tom C.H. Adamsen, Gleb I Pisarev, Alex C Hoffmann

"Aerodynamics of sports balls", Rabindra D. Mehta, in Annual Reviews of Fluid Mechanics, 1985. 17: pp. 151-189

10Bijlagen

10.1 Volledig programma (V2.2)

```
#include <Adafruit_BusIO_Register.h>
#include <Adafruit_I2CDevice.h>
#include <Adafruit_I2CRegister.h>
#include <Adafruit_SPIDevice.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>
#include "AirQuality.h"
#include "Arduino.h"

const int AirQualitySensor::FORCE_SIGNAL = 0;
const int AirQualitySensor::HIGH_POLLUTION = 1;
const int AirQualitySensor::LOW_POLLUTION = 2;
const int AirQualitySensor::FRESH_AIR = 3;

AirQualitySensor::AirQualitySensor(int pin)
    : _pin(pin), _voltageSum(0), _volSumCount(0) {
    // do nothing
}

bool MotionDetected = false;
int WaterLevelLow = 39;
int WaterLevelGoodLow = 41;
int WaterLevelGoodHigh = 43;
int WaterLevelHigh = 45;
int SafetyRelay = 6;
int WaterValveOut = 4;
int WaterValveIn = 5;
int LedLight = 7;
int MotionSensor = 3;
int DustSensor = 8;
float LightSensorAverage = 0;
bool WaterLevelLowValue = 0;
bool WaterLevelGoodLowValue = 0;
bool WaterLevelGoodHighValue = 0;
bool WaterLevelHighValue = 0;
bool WaterCleanProcess = 0;
bool CleanProcessEmpty = 0;
int WaterLowCounter = 0;
int LightSensorValue = 0;
```

```

int SafetyRelayValue =0;
bool MotionDelay =0;
unsigned long MotionDelayTimer = 0;
unsigned long durationDust =0;
unsigned long starttimeDust;
int MotorLevelPercent=0;
int AirQualitySensor;
Servo myservo;
Adafruit_BMP280 bmp;

void setup ()
{
  pinMode (MotionSensor, INPUT);
  pinMode (WaterLevelLow, INPUT);
  pinMode (WaterLevelGoodLow, INPUT);
  pinMode (WaterLevelGoodHigh, INPUT);
  pinMode (WaterLevelHigh, INPUT);
  pinMode (WaterValveOut, OUTPUT);
  pinMode (WaterValveIn, OUTPUT);
  pinMode (LedLight, OUTPUT);
  pinMode (SafetyRelay, OUTPUT);
  pinMode (DustSensor,INPUT);
  Serial.begin (9600);
  myservo.attach(6);
  starttimeDust = millis();
  Motion();
  Motor();
  Alarm();
  WaterAlarm();
  DirtyWater();
  WaterClean();
  PulsatingWater();
  Dust();

}

void loop() {

  LightSensorValue = analogRead (A3);
  WaterLevelGoodLowValue = digitalRead (WaterLevelGoodLow);
  WaterLevelGoodHighValue = digitalRead (WaterLevelGoodHigh);
  WaterLevelLowValue = digitalRead (WaterLevelLow);
  WaterLevelHighValue = digitalRead (WaterLevelHigh);
  MotionDetected = digitalRead (MotionSensor);
  Motion();
}

```

```

Motor();
Alarm();
WaterAlarm();
DirtyWater();
WaterClean();
Dust();
map(Dust(),0,75,0,15000);
map(AirQualitySensor,0,25,0,4);
Serial.println ( "LightSensorValue" );
Serial.println (LightSensorValue, DEC );
Serial.println ("MotorLevelHoek" );
Serial.println (Motor(), DEC);
Serial.print(F("Temperature = "));
Serial.print(bmp.readTemperature());
Serial.println(" *C");

}

int Motor()
{
    int MotorMotion;
    int MotorLevelHoek = MotorLevelPercent*(3);
    if ( MotionDelay == 0 )
    {
        MotorMotion=0;
    }
    if (MotionDelay == 1 || MotionDetected == 1 )
    {
        MotorMotion=60;
    }
    myservo.write(MotorLevelHoek);
    return MotorLevelHoek;
}

bool Motion()
{
    const long MotionDelayInterval = 2000;
    bool MotionActive;
    if ( MotionDetected == 1 )
    {
        MotionDelayTimer = millis();
        MotionActive = true;
    }
    if ( millis() - MotionDelayTimer <= MotionDelayInterval && MotionDelayTimer != 0 )
    {
        MotionDelay = 1;
    }
}

```

```

    }
else {
    MotionDelay = 0;
    MotionDelayTimer = 0;
    MotionActive = false;
}
return MotionActive;
}

bool Alarm()
{
    bool Alarm;
    if ( WaterAlarm() == 1|| bmp.readTemperature() > 45 || AirQualitySensor == 4)
    {
        digitalWrite (LedLight, HIGH);
        digitalWrite (SafetyRelay, LOW);
        Alarm = true;
    }
    else
    {
        digitalWrite (LedLight, LOW);
        digitalWrite (SafetyRelay, HIGH);
        Alarm = false;
    }
    return Alarm;
}

bool DirtyWater()
{
    int LightSensorCount = 6;
    int LightSensorSum = 0;
    bool WaterDirt =0;
    if (LightSensorValue > 200)
    {
        for (int i = 1; i < LightSensorCount ; i++ )
        {
            LightSensorSum += analogRead (A2);
            delay(1000);
        }
        LightSensorAverage = LightSensorSum/LightSensorCount;
    }
    if (LightSensorAverage > 200)
    {
        WaterDirt = 1;
        WaterCleanProcess = 1;
        LightSensorAverage =0;
    }
}

```

```

else
{
    WaterDirt = 0;
}
return WaterDirt;
}

bool WaterAlarm()
{
    bool WaterAlert;
    unsigned long WaterInTimer;
    const long WaterInTimerMax = 20000; // fill in time before alarm should go on if water
valve is open for to long
    if ( WaterValveln == 1 )
    {
        WaterInTimer = millis();
    }
    if (millis() - WaterInTimer <= WaterInTimerMax && WaterInTimer != 0 )
    {
        WaterAlert = true;
    }
    if (WaterCleanProcess == 0 && WaterLevelHighValue == 1 )
    {
        WaterAlert = true;
    }
    if ( WaterCleanProcess == 1 || WaterLevelHighValue == 1 )
    {
        digitalWrite (WaterValveOut, HIGH);
    }
    else
    {
        digitalWrite (WaterValveOut, LOW);
        WaterAlert = false;
        WaterInTimer = 0;
    }
    return WaterAlert;
}

void WaterClean ()
{
    if (WaterCleanProcess == 1) //start pulsating waterdispenser
    {
        PulsatingWater();
    }
    if (WaterCleanProcess == 1 && WaterLevelLowValue == 0 && DirtyWater() == 0 &&
WaterLevelGoodLowValue == 0) //in case there is still dirt the cleaning will continue. timer
dirty water needs to be set to indicate error/or manual intervention is necessary
}

```

```

{
    CleanProcessEmpty = true;
    WaterCleanProcess = false;
    digitalWrite (WaterValveIn, HIGH);
}
if (CleanProcessEmpty == 1 && WaterLevelGoodHighValue == 1)
{
    CleanProcessEmpty == false;
    digitalWrite (WaterValveIn, LOW);
}
}

void PulsatingWater()
{
    digitalWrite (WaterValveIn, HIGH);
    delay(4000); //delay needs to be higher if water doesn't drain fast enough
    digitalWrite (WaterValveIn, LOW);
}

float Dust()
{
    unsigned long sampletime_msDust = 30000;//sampe 30s ;
    unsigned long lowpulseoccupancyDust = 0;
    float ratioDust;
    float concentrationDust;
    durationDust = pulseIn(DustSensor, LOW);
    lowpulseoccupancyDust = lowpulseoccupancyDust+durationDust;
    if ((millis()-starttimeDust) > sampletime_msDust)//if the sampel time == 30s
    {
        ratioDust = lowpulseoccupancyDust/(sampletime_msDust*10.0); // Integer percentage
        0=>100
        concentrationDust = 1.1*pow(ratioDust,3)-3.8*pow(ratioDust,2)+520*ratioDust+0.62; // using spec sheet curve
        lowpulseoccupancyDust = 0;
        starttimeDust = millis();
    }
    return concentrationDust;
}

bool AirQualitySensor::init(void) {
    int initVoltage = analogRead(_pin);

    if (10 < initVoltage && initVoltage < 798) {
        _currentVoltage = initVoltage;
        _lastVoltage = _currentVoltage;

        _standardVoltage = initVoltage;
    }
}

```

```

        _lastStdVolUpdated = millis();

        return true;
    } else {
        return false;
    }
}

int AirQualitySensor::slope(void) {
    _lastVoltage = _currentVoltage;
    _currentVoltage = analogRead(_pin);

    _voltageSum += _currentVoltage;
    _volSumCount += 1;

    updateStandardVoltage();
    if (_currentVoltage - _lastVoltage > 400 || _currentVoltage > 700) {
        return AirQualitySensor::FORCE_SIGNAL;
    } else if ((_currentVoltage - _lastVoltage > 400 && _currentVoltage < 700)
               || _currentVoltage - _standardVoltage > 150) {
        return AirQualitySensor::HIGH_POLLUTION;
    } else if ((_currentVoltage - _lastVoltage > 200 && _currentVoltage < 700)
               || _currentVoltage - _standardVoltage > 50) {
        return AirQualitySensor::LOW_POLLUTION;
    } else {
        return AirQualitySensor::FRESH_AIR;
    }

    return -1;
}

int AirQualitySensor::getValue(void) {
    return _currentVoltage;
}

void AirQualitySensor::updateStandardVoltage(void) {
    if (millis() - _lastStdVolUpdated > 500000) {
        _standardVoltage = _voltageSum / _volSumCount;
        _lastStdVolUpdated = millis();

        _voltageSum = 0;
        _volSumCount = 0;
    }
}

```

10.2 Elektrisch schema

