



## Professionele Bachelor Elektromechanica Klimatisering



## ANALYSE EN VERBETERING BINNENKLIMAAT HOGESCHOOL PXL-TECH IN DIEPENBEEK

Bjorn Es  
Sybren Vanheeswyck

Promotoren:

Ing. Wim Vandormael  
Ing. Gwen Vanheusden

Hogeschool PXL  
Hogeschool PXL

De eindverantwoordelijkheid voor deze scriptie rust volledig bij de student zelf. Ook na scriptie- en procesbegeleiding valt het niet uit te sluiten dat de scriptie nog onjuistheden en/of onvolledigheden bevat, die wél bij de eindevaluatie in rekening werden gebracht, maar in de finale versie niet meer werden aangepast

# I. Abstract

Titel:

**Analyse en verbetering binnenklimaat Hogeschool PXL in Diepenbeek**

Auteur:

**Bjorn Es**

**Sybren Vanheeswyck**

Promotoren:

Ing. Gwen Vanheusden

Ing. Wim Vandormael

Hogeschool PXL

Hogeschool PXL

---

Het onderwerp van deze bachelorproef is het analyseren en verbeteren van het binnenklimaat van het PXL-TECH gebouw in Diepenbeek.

Het huidige probleem in het PXL-TECH gebouw is het slechte binnenlucht en het hoge energieverbruik. De slechte binnenlucht is vooral te wijten aan de hoge bezettingsgraad en de slechte ventilatie van het gebouw. Daarnaast is het hoge energieverbruik een gevolg van de vele technieken en mensen die aanwezig zijn in het gebouw.

De onderzoeksvraag van deze bachelorproef luidt als volgt: "Hoe kan de binnenlucht en het energie aspect van het PXL-TECH gebouw verbeterd worden?"

Deze bachelorproef bestaat uit twee doelstellingen. Het eerste doel is onderzoeken wat het huidige binnenklimaat in de leslokalen is en welke ventilatietechnieken er worden gebruikt. Het tweede doel is onderzoeken of het energieverbruik van de leslokalen verminderd kan worden m.b.v. de norm EN15232.

Om tot een oplossing te komen wordt er eerst onderzoek gedaan naar de problemen en wat de oorzaken ervan zijn. De oorzaken zijn: de slechte ventilatie, de hoge bezettingsgraad, de slechte sturing van de verwarming en de verouderde verlichting.

Het resultaat van deze bachelorproef is een methode om de luchtkwaliteit in een ruimte te loggen m.b.v. een Arduino microcontroller. Ook zijn er voorstellen geformuleerd om de ventilatie, verwarming en verlichting te verbeteren. Het ventilatie voorstel bevat een aantal kritische vergelijkingen tussen ventilatiesystemen. Hieruit is het meest geschikte ventilatiesysteem gekozen en uitgewerkt. Om het energieverbruik van de verwarming terug te schroeven is er een voorstel om gestuurde thermostaatkranen te gebruiken uitgewerkt. Ten slotte is er een onderzoek om de verlichting te verbeteren uitgevoerd.

## II. Summary

Title:

**Analyse and improvement of the indoor climate in the PXL-TECH academy in Diepenbeek**

Authors:

**Bjorn Es**

**Sybren Vanheeswyck**

Promoters:

Ing. Gwen Vanheusden

Hogeschool PXL

Ing. Wim Vandormael

Hogeschool PXL

---

The subject of this thesis is analyzing and improving the indoor climate. This project is applied to the PXL-TECH academy.

The present problem in the PXL-TECH building is the bad indoor air quality. The bad indoor air quality is due to the high occupancy rate and the under dimensioned ventilation system. There are also problems with the high energy consumption. This is due to the many different techniques and the high occupancy rate of people in the building.

The research question is: "How can we improve the indoor air quality and the energy consumption in the PXL-TECH academy?".

This thesis is divided into two objectives. The first objective is analyzing the indoor air quality and inspecting the current ventilation system. The second objective is researching if there are ways to decrease the current energy consumption of the classrooms according to the EN15232 standard.

To provide a solution to the problems there is going to be research of the present problems and the causes of these problems. The causes are: the bad ventilation, the high occupancy rate, the bad control of the heating and the old lighting.

The result of this thesis is a measuring tool that can log the indoor air quality with an Arduino microcontroller. There will also be proposals to improve the current ventilation, heating, and lighting. The ventilation proposal contains a number of critical comparisons between ventilation systems. From these comparisons, the best suited ventilation system is chosen and worked out. To reduce the heating cost there is a proposal to install automatically controlled thermostatic radiator valves. Finally, there is a proposal to improve the lighting.

### III. Dankwoord

Dit eindwerk was niet mogelijk zonder de steun en de medewerking van een aantal personen.

Graag zouden we onze bedrijfspromotor, Gwen Vanheusden bedanken. Tijdens deze stageperiode stond hij altijd klaar als er vragen of onduidelijkheden waren. Ook onze PXL-promotor, Wim Vandormael zouden we hiervoor willen bedanken.

Dhr. Roger Vrancken willen we ook graag bedanken om altijd klaar te staan voor onze vragen al had hij het zeer druk.

De Hogeschool PXL willen we graag bedanken voor de stageplaats.

Ten slotte een woord van dank voor onze familie en onze vriendinnen. Zij boden de steun die we nodig hadden om deze stage en het eindwerk tot een goed einde te brengen.

## IV. Inhoudsopgave

I.	Abstract .....	1
II.	Summary .....	2
III.	Dankwoord .....	3
IV.	Inhoudsopgave .....	4
V.	Figurenlijst .....	8
VI.	Tabellenlijst .....	10
1	Inleiding.....	1
2	CO <sub>2</sub> -, temperatuur- en vochtigheidsmeting.....	2
2.1.1	Arduino microcontroller.....	3
2.1.2	De temperatuur/vochtigheid meten.....	4
2.1.3	CO <sub>2</sub> -sensor .....	4
2.1.4	Loggen van de gemeten waarde .....	6
2.1.5	WiFi-module (ESP8266).....	8
2.1.6	De printplaat .....	9
2.1.7	De code.....	14
2.1.8	De prijslijst.....	17
2.2	Vergelijking met commerciële loggers.....	17
2.3	Kostprijs vergelijking .....	19
2.4	Mogelijke verbeteringen .....	19
2.4.1	Printen van een behuizing.....	20
2.4.2	Loggen van andere waardes.....	20
2.4.3	Nauwkeurigere CO <sub>2</sub> -sensor .....	21
2.4.4	Logger op batterijen .....	22
2.5	Uitvoering van een logging.....	22
2.5.1	Meetopstelling .....	22
2.5.2	CO <sub>2</sub> .....	22
2.6	Temperatuur .....	23
2.7	Resultaat.....	24
3	Ventilatie .....	25
3.1	Luchtsamenstelling.....	25
3.2	Ventilatie in de PXL Hogeschool gebouw H .....	26
3.2.1	Onderhoud van het bestaand systeem .....	27
3.3	Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> ) .....	28
3.3.1	Wat is koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> ) .....	28

3.3.2	Waarom koolstofdioxide meten .....	28
3.3.3	Wanneer is de hoeveelheid koolstofdioxide te hoog .....	28
3.3.4	Besluit.....	29
3.4	Voorstellen om ventilatie te integreren in het PXL-TECH gebouw .....	29
3.4.1	Inleiding.....	29
3.4.2	Voorstellen voor verbetering van de ventilatie .....	30
3.5	De Airmaster .....	37
3.5.1	Opbouw van het toestel.....	37
3.5.2	Warmte terugwinning.....	37
3.5.3	Energieverbruik .....	38
3.5.4	Geluidsproductie .....	38
3.5.5	Dataloggen .....	39
3.5.6	Sturing .....	39
3.5.7	Monitoring.....	39
3.5.8	Netwerk control .....	39
3.5.9	Onderhoud .....	40
3.5.10	Correcte plaatsing .....	40
3.5.11	Luchtstroming .....	42
3.6	Voorstel om lokaal F108 aan te passen.....	43
3.6.1	Type toestel.....	43
3.6.2	Prijsraming.....	45
3.7	Besluit.....	47
4	Studie verbetering door toepassing norm EN15232.....	48
4.1	Inleiding.....	48
4.2	Bepaling van de energieklassie van het PXL gebouw.....	49
4.3	Aanpassingsmogelijkheden.....	49
4.4	Automatisering leslokalen.....	50
4.4.1	Voor- en nadelen verschillende types automatiseringssystemen .....	50
4.5	Mogelijkheden met room automatization.....	51
4.5.1	Automatisering op HVAC vlak .....	51
4.5.2	Automatisering op verlichting/elektrisch vlak .....	51
4.5.3	Werking en monitoring .....	51
4.6	Bepalen welke besparing er mogelijk is in het gebouw .....	52
4.7	Besluit.....	52
5	Automatisering verwarming .....	53
5.1	Inleiding.....	53

5.2	Automatiseringsmogelijkheden .....	53
5.3	Self-powered intelligent Thermostatic Radiator Valve (iTRV) .....	54
5.4	Werkingsprincipe .....	54
5.4.1	Batterij vrije werking .....	54
5.4.2	Draadloze werking.....	56
5.4.3	Draadloos bereik .....	56
5.4.4	Montage op de radiator .....	56
5.4.5	Kamerthermostaat .....	57
5.4.6	Kamerthermostaat met emoncms.org.....	57
5.4.7	Aanwezigheid sturing .....	57
5.4.8	Aanwezigheid- en temperatuursensor.....	57
5.4.10	Kostprijs.....	58
5.5	Aanpassing bestaande verwarmingssturing .....	58
5.6	Besparingsmogelijkheid .....	59
5.7	Besluit.....	59
6	Automatisering verlichting.....	60
6.1	Verlichtingsnormen.....	60
6.2	Elektrisch verbruik door verlichting .....	61
6.3	Besparingsmogelijkheden .....	61
6.4	Aan-/uitsturing van de verlichting .....	62
6.4.1	Type detectie.....	62
6.4.2	Bewegingsdetectie .....	62
6.4.3	Aanwezigheidsdetectie .....	62
6.4.4	Waarnemingsmethoden detectoren.....	62
6.4.5	PIR detectors .....	62
6.4.6	Ultrasone detectors.....	62
6.4.7	Microgolf detectors.....	62
6.5	Daglichtsturing .....	63
6.5.1	Luxmeting.....	63
6.5.2	Plaatsing van de lux-sensor .....	63
6.6	Wat is Dali?.....	64
6.6.1	Voordelen Dali.....	64
6.6.2	Werking Dali .....	64
6.6.3	Verbinding .....	64
6.7	Standalone Dali sturing in F108.....	65
6.8	Dali sturing met Beckhoff.....	65



6.9	Besparing met Dali .....	66
6.10	Enocan aanwezigheids-, bewegings-, luxsensoren .....	67
6.11	Besluit Dali sturing.....	67
7	Voorstel toepassen van vernieuwde verlichting.....	68
7.1	Huidige verlichting .....	68
7.1.1	Branduren per dag .....	68
7.1.2	Branddagen per week .....	69
7.1.3	Brandweken per jaar .....	70
7.1.4	Totaalverbruik van de verlichting in F108.....	70
7.1.5	Huidig energieverbruik voor verlichting in F108.....	70
7.1.6	Huidige Onderhoudskosten F108.....	71
7.1.7	Totale kosten verlichting F108 .....	72
7.2	Led verlichting .....	73
7.2.1	Verschil conventionele TL en TL-led.....	73
7.2.2	Misverstanden bij het gebruik van TL-led lampen.....	73
7.3	Besparing met TL-led.....	76
7.3.1	TL-led Phillips LED T8 value .....	76
7.4	Terugverdientijd .....	78
7.5	Besluit TL-led .....	78
8	Automatiseren met een roomcontroller.....	79
8.1	Functies van de BC9191 .....	79
8.2	De verschillende versies BC9191 roomcontrollers .....	80
8.3	Besluit roomcontroller .....	80
9	Bibliografie .....	81
VII.	Bijlagen.....	84
	<b>Bijlage 1:</b> .....	84
	<b>Bijlage 2:</b> .....	85
	<b>Bijlage 3:</b> .....	86
	<b>Bijlage 4:</b> .....	87

## V. Figurenlijst

Figuur 1: Eerste prototype logger .....	2
Figuur 2: Arduino Pro Mini [30].....	3
Figuur 3: Arduino Nano [35].....	3
Figuur 4: Arduino FTDI programmeur .....	3
Figuur 5: ABC logic berekening [6] .....	5
Figuur 6: Code voor berekening van CO <sub>2</sub> -waarde .....	6
Figuur 7: ESP8266 Wi-Fi module .....	8
Figuur 8: Perfboard [8].....	9
Figuur 9: Prototype logger .....	10
Figuur 10: Bedradingschema Arduino Pro Mini logger .....	11
Figuur 11: Printplaat Arduino Pro Mini logger.....	11
Figuur 12: Bedradingschema Arduino Nano logger.....	12
Figuur 13: Printplaat Arduino Nano logger.....	13
Figuur 14: Websensys vloerplan .....	18
Figuur 15: Behuizing concept voor de logger.....	20
Figuur 16: K30 CO <sub>2</sub> -sensor [11] .....	21
Figuur 17: Grafiek meetfout met ABC logic [11] .....	21
Figuur 18: Grafiek CO <sub>2</sub> -waarde.....	23
Figuur 19: Grafiek binnen temperatuur .....	23
Figuur 20: Buiten temperatuur .....	24
Figuur 21: Voorbeeld CO <sub>2</sub> meting wanneer er 1 uur les is geven .....	26
Figuur 22: Raamrooster .....	27
Figuur 23: Kwaliteit van binnenlucht volgens de CO <sub>2</sub> -waarde .....	28
Figuur 24: Refresh unit met Low H <sub>2</sub> O radiator [13].....	31
Figuur 25: Refresh unit zonder Low-H <sub>2</sub> O radiator [13].....	31
Figuur 26: Stand van recirculatieknop [13].....	31
Figuur 27: Aeropulmo [14] .....	32
Figuur 28: Foto van ruimte boven het vals plafond met dwarsbalken .....	33
Figuur 29: Foto van verwarmingsbuis in vals plafond.....	33
Figuur 30: bovenaanzicht F108.....	34
Figuur 31: Isometrisch perspectief F108.....	34
Figuur 32: Airmaster kast model      Figuur 33: Airmaster staand model .....	36
Figuur 34: Voorstelling warmtewisselaar [15].....	37
Figuur 35: Digitale BMS [15].....	40
Figuur 36: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	40
Figuur 37: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	41
Figuur 38: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	41
Figuur 39: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	41
Figuur 40: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	42
Figuur 41: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	42
Figuur 42: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	42
Figuur 43: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15] .....	43
Figuur 44: Voorstelling kastmodel .....	44
Figuur 45: Voorstelling plafondmodel .....	44
Figuur 46: Energie consumptie [17].....	48
Figuur 47: Tabel EN15232 klassen [18] .....	49
Figuur 48: Stooklijnen [19] .....	53
Figuur 49: iTRV [20] .....	54
Figuur 50: Peltier-Seebeck effect [31] .....	54
Figuur 51: iTRV opgewekte t.o.v. verbruikte energie [20] .....	55

<b>Figuur 52: iTRV batterijlading [20]</b> .....	<b>55</b>
<b>Figuur 53: Draadloos bereik [21]</b> .....	<b>56</b>
<b>Figuur 54: Adapterring [32]</b> .....	<b>56</b>
<b>Figuur 55: Luxomat PD2N [22]</b> .....	<b>57</b>
<b>Figuur 56: Individuele warmte vraag bij room automatisatie [23]</b> .....	<b>58</b>
<b>Figuur 57: Efficiëntie factoren EN15232 [23]</b> .....	<b>61</b>
<b>Figuur 58: Positie lux sensor t.o.v lichtreflecties</b> .....	<b>63</b>
<b>Figuur 59: Positie lux sensor t.o.v warmtebronnen</b> .....	<b>63</b>
<b>Figuur 60: Dali compatibele kabel [26]</b> .....	<b>64</b>
<b>Figuur 61: SR-MDS solar ceiling sensor [27]</b> .....	<b>67</b>
<b>Figuur 62: SR-MDS ceiling sensor [27]</b> .....	<b>67</b>
<b>Figuur 63: Componenten TL-lamp</b> .....	<b>71</b>
<b>Figuur 64: Kleurweergave [28]</b> .....	<b>74</b>
<b>Figuur 65: Beckhoff BC9191 [29]</b> .....	<b>79</b>

## VI. Tabellenlijst

Tabel 1: Verschil tussen DHT11 en DHT22	4
Tabel 2: Onderdelenlijst Arduino meter	17
Tabel 3: Kostprijs logging met Arduino	19
Tabel 4: Kostprijs logging met Wisensys	19
Tabel 5: Prijsraming Aeropulmo	35
Tabel 6: dB niveaus [16]	38
Tabel 7: Kostprijs iTRV	58
Tabel 8: Verlichtingsnormen [24]	60
Tabel 9: Kosten raming installatie Dali	65
Tabel 10: Kosten raming installatie Dali decentraal	66
Tabel 11: Besparing met Dali	66
Tabel 12: Branduren per dag	68
Tabel 13: Bezetting per week	69
Tabel 14: Brandweken per jaar	70
Tabel 15: Energieverbruik van de TL verlichting in het lokaal F108	70
Tabel 16: Onderhoudskosten van de TL verlichting in het lokaal F108	71
Tabel 17: Totale kosten voor de TL verlichting in het lokaal F108	72
Tabel 18: Lichtopbrengst TL vs TL-led in bestaande armatuur	74
Tabel 19: Energieverbruik van de TL-led verlichting in het lokaal F108	76
Tabel 20: Onderhoudskosten van de TL-led verlichting in het lokaal F108	76
Tabel 21: Totale kosten voor de verlichting met TL-led in het lokaal F108	77
Tabel 22: Terugverdientijd TL-led verlichting	78

# 1 Inleiding

Deze bachelorproef wordt uitgevoerd in de Hogeschool PXL. De Hogeschool PXL is een educatieve instelling met verschillende departementen, PXL-TECH is er daar één van. De studenten kunnen binnen dit departement een keuze maken uit een brede waaier van opleidingen. Wij studeren Electromechanica. De andere opleidingen die onderwezen worden zijn Agro-en Biotechnologie, Bouw en Elektronica-ICT.

In 2014 is er een PWO-project gestart waarin onderzoek gedaan wordt naar alternatieve energietechnieken om het PXL-TECH gebouw te verbeteren. Binnen dit PWO-project is er een stageperiode en bachelorproef ontstaan. Dit jaar wordt er binnen dit project geanalyseerd wat de problemen en aanpassingsmogelijkheden betreffende ventilatie, verwarming en verlichting zijn in het PXL-gebouw.

Deze bachelorproef probeert een oplossing te vinden voor twee problemen. Het eerste probleem is een onderzoek van de huidige luchtkwaliteit in de leslokalen. In het PXL-TECH gebouw zijn er een aantal drukbezochte leslokalen met een laag comfortniveau. Tijdens de lessen zitten er veel mensen op een kleine oppervlakte. Het huidige ventilatiesysteem is hier niet op gedimensioneerd en kan te weinig verse lucht aanvoeren. Dit zorgt ervoor dat de CO<sub>2</sub>-waarde, temperatuur en vochtigheid zeer sterk stijgt. De luchtkwaliteit zorgt er voor dat de leerlingen en leerkrachten zich minder goed kunnen concentreren. Dit is nefast voor een educatieve instelling.

(Het tweede probleem) De tweede uitdaging is onderzoeken of het energieverbruik van de leslokalen verminderd kan worden. In de laatste jaren zijn er zeer veel technieken ontwikkeld om het energieverbruik te verlagen. We denken hier aan led-technologie en de automatisering van verlichting, ventilatie en verwarming. Deze vernieuwende technieken zijn opgenomen uit de EN15232 norm. In deze Europese norm wordt uitgelegd welke ingreep men op gebouwen kan verrichten om het energieverbruik te verlagen.

De onderzoeksvraag luidt: “Hoe kan het binnenklimaat en het energieaspect van het PXL-TECH gebouw verbeterd worden?”.

Het binnenklimaat en het energieverbruik van het gebouw gaat geanalyseerd worden om de huidige problemen bloot te leggen. Welke elementen zorgen voor de problemen? Vervolgens gaat er onderzocht worden of er oplossingen zijn om deze problemen op te lossen. Tot slot nodigen we vertegenwoordigers uit. Deze personen kunnen met hun technische blik de situatie evalueren. Samen kunnen we oplossingen formuleren om de problemen aan te pakken en een offerte kan vervolgens opgesteld worden.

Het verwachte resultaat van deze bachelorproef is een methode om de luchtkwaliteit te loggen. Ook zal er een onderzoek gevoerd worden om de huidige ventilatie, verwarming en verlichting te verbeteren.

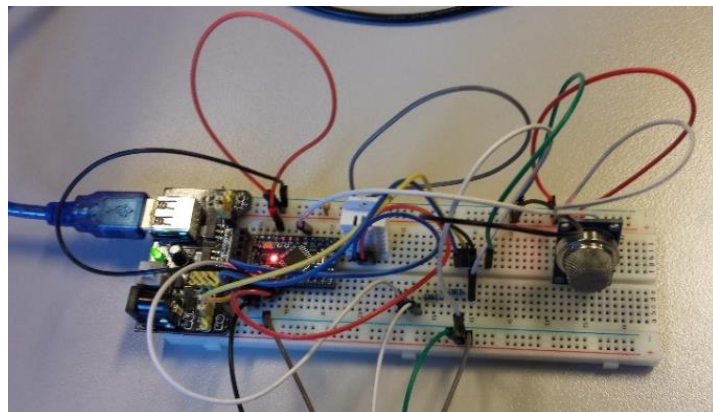
## 2 CO<sub>2</sub>-, temperatuur- en vochtigheidsmeting

Naar aanleiding van klachten over de luchtkwaliteit in de leslokalen, zijn we gaan kijken hoe we dit kunnen aantonen. De beste manier om dit probleem zichtbaar te maken is door een meting uit te voeren. De lucht die wij inademen bestaat uit een samenstelling van duizenden stoffen. Hierin bevinden zich zowel chemische stoffen maar ook organismen zoals pollen en micro-organismen. De waarde die we meten om te bepalen wat de luchtkwaliteit is, zijn CO<sub>2</sub>, temperatuur en vochtigheid.

Het meettoestel dat we gaan gebruiken bij de meting, is een toestel dat we zelf gebouwd hebben met een Arduino en sensoren. De reden dat we zelf een logger gemaakt hebben, is omdat bestaande loggers een zeer hoge kostprijs hebben. Ook hebben deze loggers vaak niet de mogelijkheid om via het bestaande netwerk gegevens te uploaden. De nauwkeurigheid van deze zelf ontworpen logger moet hoog genoeg zijn om aan te kunnen tonen dat de luchtkwaliteit niet goed is en dat deze gaat veranderen naargelang er meerdere personen het lokaal betreden.

We zijn dus op zoek naar:

- Temperatuurmeting
- Vochtigheidsmeting
- CO<sub>2</sub>-meting
- Loggen (opslaan) van deze waarde op een eenvoudige manier
- Lage kostprijs

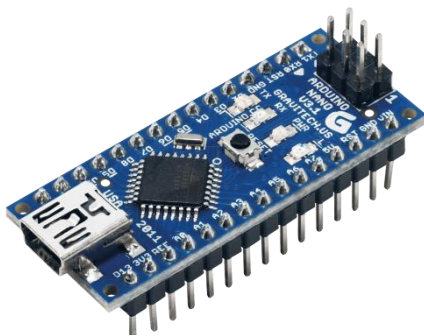


Figuur 1: Eerste prototype logger

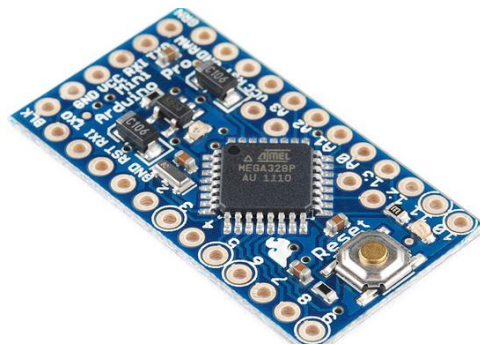
### 2.1.1 Arduino microcontroller

Arduino is een microcontroller die gebruikt kan worden om apparaten of objecten te automatiseren. De Arduino beschikt over een aantal in- en outputs. Aan de inputs kunnen we sensoren zoals temperatuursensoren, licht-sterktesensoren, knoppen of andere verbinden. Aan de output kunnen we motoren, leds, ... besturen.

We gaan dus een microcontroller gebruiken. Door de jaren heen heeft Arduino verschillende types ontwikkeld. Wij hebben in ons geval een compacte en goedkope controller nodig. Op onderstaande foto's kunnen we twee types zien die in deze categorie vallen, de Arduino Nano en de Arduino Pro Mini.

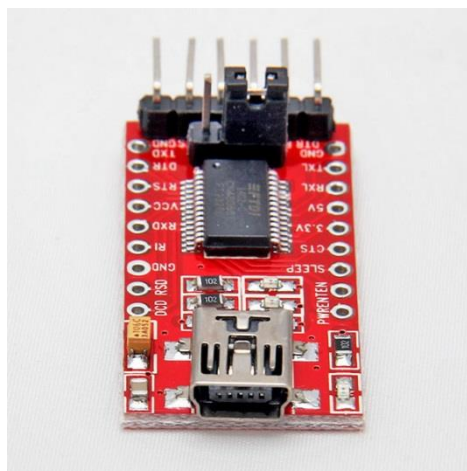


Figuur 3: Arduino Nano [35]



Figuur 2: Arduino Pro Mini [30]

Het verschil tussen de Arduino Nano en de Pro Mini zijn de afmetingen. De Arduino Nano is in totaal 1 centimeter langer. Dit komt omdat er op de Arduino Nano componenten om de microprocessor te programmeren zijn opgenomen. Bij een Arduino Pro Mini moet er een externe FTDI programmeur gebruikt worden. Deze kunnen we zien op onderstaande figuur(figuur 4) [1].



Figuur 4: Arduino FTDI programmeur

### 2.1.2 De temperatuur/vochtigheid meten

Om de temperatuur en de vochtigheid te meten kunnen we 2 aparte sensoren gebruiken. Het is echter ook mogelijk om te opteren voor een sensor die deze 2 combineert. Onze voorkeur gaat uit naar de DHT11 of DHT22. In onderstaande tabel (tabel 1) schetsen we het verschil tussen deze twee sensoren [2] [3].

<b>Specificaties</b>	<b>DHT11</b>	<b>DHT22</b>
Meetbereik temperatuur	0~50 °C	-40~50°C
Nauwkeurigheid temperatuur	± 2°C	± 0,5°C
Gevoeligheid temperatuur	0,1°C	0,1°C
Meetbereik vochtigheid	20-90%RH	0-100%RH
Nauwkeurigheid vochtigheid	5%RH	2%RH
Gevoeligheid vochtigheid	1%RH	0,1%RH
Prijs:	€ 1,30	€ 2,80

Tabel 1: Verschil tussen DHT11 en DHT22

**Besluit:** We zien dat er een groot verschil ligt in nauwkeurigheid tussen DHT11 en de DHT22. We opteren beter voor een DHT22 sensor om de temperatuur en vochtigheid zo nauwkeurig mogelijk te meten.

### 2.1.3 CO<sub>2</sub>-sensor

Er kan gekozen worden tussen verschillende types CO<sub>2</sub> sensoren. Onze voorkeur gaat uit naar de MQ-135 sensor. Dit is een sensor die gebruik maakt van een elektrochemisch resistief element uit SnO<sub>2</sub>. Dit element is gevoelig voor CO<sub>2</sub> in de lucht en zal van weerstand veranderen. Door deze weerstand te meten kunnen we de waarde linken aan een CO<sub>2</sub> die opgesteld wordt in de datasheet. Om deze berekening uit te voeren kunnen we gebruik maken van een library die ons ter beschikking is gesteld door Georg Krocker [4].

De CO<sub>2</sub>-sensor heeft drie voor- en drie nadelen. Het eerste voordeel is dat de CO<sub>2</sub>-sensor goedkoop is. Daarnaast is hij eenvoudig te gebruiken en tot slot is hij compact waardoor je hem eenvoudig kan solderen op een printplaat.

Het eerste nadeel van de sensor is dat de gemeten CO<sub>2</sub> waarde afwijkt van de temperatuur. Wanneer de sensor lucht meet van 20°C, gaat de gemeten waarde afwijken bij diezelfde lucht van 15°C. Een ander nadeel van de sensor is dat over een lange periode de sensor een drift heeft. De interne weerstandswaarde van de sensor gaat na verloop van tijd veranderen. Dit betekent dat de interne weerstand niet meer overeenkomt met de interne weerstand van de sensor bij kalibratie. Het laatste nadeel van deze sensor is dat er weinig gegevens beschikbaar zijn. In de datasheet wordt er geen informatie gegeven over de resolutie, het meetbereik en de nauwkeurigheid.



### 2.1.3.1 Nauwkeurigheidstest van de CO<sub>2</sub> sensor

In de datasheet zijn er geen gegevens beschikbaar over de nauwkeurigheid, het meetbereik en de resolutie van de sensor. De reden van deze afwezige gegevens is dat de MQ135 sensor meerdere gassen kan detecteren. Deze sensor kan NH<sub>3</sub>- (ammoniak), NO<sub>x</sub>- (stikstofdioxide), C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>- (benzeen) en CO<sub>2</sub>-waarde detecteren.

Om de nauwkeurigheid te achterhalen hebben we de CO<sub>2</sub>-waarde van de sensor vergeleken met de CO<sub>2</sub>-waarde van een gekalibreerde sensor. Hieruit bleek dat er een kleine afwijking was tussen de twee meters, ongeveer 30 tot 40 PPM of “parts per million”. Ook viel op dat hoe hoger de CO<sub>2</sub>-waarde hoe hoger de afwijking werd.

Een ander aandachtspunt is de drift van deze sensor. Zoals eerder uitgelegd zal het kalibratiepunt van de sensor verschuiven bij een langere gebruikperiode. Hier is het dan interessant om een stuk code toe te voegen aan de “MQ135.H” code om er voor te zorgen dat de sensor zichzelf kalibreert. Dit kalibratiepunt wordt dan ingesteld op de laagst gemeten CO<sub>2</sub>-waarde, gemeten over één of twee weken [5].

Dit kan men vergelijken met de “ABC logic” sensoren. Door gebruik te maken van een microcontroller wordt het kalibratiepunt elke acht dagen herrekend (te herrekenen). Dit doet men door volgende berekening toe te passen [6]. Het nadeel aan deze berekening is dat deze enkel toepasbaar is wanneer de binnenlucht effectief vers is. Wanneer deze gedurende acht dagen meer als 400 PPM is, gaat de sensor zich fout kalibreren. Deze berekening kunnen we zien in onderstaande figuur (figuur 5).

$$\begin{aligned} ABC \text{ Offset} &= 400 - \text{Lowest Reading} \\ \text{New CO}_2 \text{ Reading} &= \text{Old CO}_2 \text{ Reading} + ABC \end{aligned}$$

Figuur 5: ABC logic berekening [6]

### 2.1.3.1 Kalibreren van de CO<sub>2</sub>-sensor (MQ135)

Om de sensor te kalibreren gebruiken we de buitenlucht van ongeveer 20°C. De huidige verse buitenlucht heeft ongeveer een CO<sub>2</sub>-waarde van 400 PPM. We gebruiken de Arduino en het programma “KalibratieMQ135.INO” om deze waarde te kalibreren. Elke 3 seconden zal de Arduino een waarde naar de PC sturen.

Door gebruik te maken van Excel kunnen we de gemiddelde waarde berekenen om een accurate waarde te krijgen. Deze waarde vullen we in het bestand “MQ135.h” in het veld “RZERO” zichtbaar in onderstaande figuur (figuur 6).

```
23
24  /// The load resistance on the board
25  #define RLOAD .9
26  /// Calibration resistance at atmospheric CO2 level
27  #define RZERO 96
28
29  /// Parameters for calculating ppm of CO2 from sensor resistance
30  #define PARA 116.6020682
31  #define PARB 2.769034857
32
33  /// Parameters to model temperature and humidity dependence
34  #define CORA 0.00035
35  #define CORB 0.02718
36  #define CORC 1.39538
37  #define CORD 0.0018
```

Figuur 6: Code voor berekening van CO<sub>2</sub>-waarde

### 2.1.4 Loggen van de gemeten waarde

Wanneer we metingen uitvoeren moeten we natuurlijk ook de gemeten waarden opslaan. Sommige loggers opteren voor een geheugenkaart, andere versturen deze gegevens via een lokaal netwerk naar een database.

Een andere mogelijkheid is de gegevens uploaden via het internet. In elk lokaal is er een draadloos netwerk. Als er op dit netwerk verbonden kan worden, is het mogelijk de data te uploaden naar een logging website zoals Emoncms.org.

“Energy monitor content management system” of Emoncms in het kort, is een site waar men meetgegevens naar kan versturen. Wanneer de server deze gegevens ontvangt, slaat men deze op samen met de tijd van ontvangst. We kunnen deze gegevens op elk tijdstip terug opvragen in de vorm van een grafiek. Ook is er de mogelijkheid om deze meetgegevens te downloaden in een Excel bestand.

Een ander voordeel is dat deze gegevens ook uitgelezen kunnen worden. Dit betekent dus dat een PLC over de temperatuur vochtigheid en CO<sub>2</sub>-waarde kan beschikken om de verwarming of ventilatie te sturen.

### 2.1.4.1 Zenden van gegevens naar Emoncms

De manier om gegevens op te slaan op de Emoncms server is via een “Json request”. We doen dit door bijvoorbeeld volgende link te genereren met de gegevens, en hiernaar toe te surfen.

<http://emoncms.org/input/post.json?json={CO2Waarde:200}&apikey=6eGGG8a987d50a8b71d49937c3067cf0>

Deze URL bestaat uit 3 delen

Deel 1: <http://emoncms.org/input/post.json?json={...}>

We sturen de gegevens door in JSON formaat. JSON of Javascript Object Notation maakt het mogelijk om voor ons leesbare tekst om te vormen naar een data-object met een bijhorende waarde. [7]

Deel 2: CO2Waarde:200

We loggen de waarde van “CO2Waarde” op het huidige moment “200”.

Deel 3: &apikey=6eGGG8a987d50a8b71d49937c3067cf0

We voegen de bijhorende API-key toe. Deze API-key is gekoppeld aan een gebruikersaccount en geeft ons de autorisatie om de gegevens te loggen.

### 2.1.4.2 Lezen van gegevens op Emoncms

Om gegevens uit te lezen gebruiken we ook een “Json request”. We laten een PLC of een andere toepassing volgende link genereren.

<http://emoncms.org/feed/timevalue.json?apikey=6eGGG8a987d50a8b71d49937c3067cf0&id=74138>.

Verschillend met de “Json request” om gegevens op te slaan moeten we nu een “feed-id” achteraan in de link opgeven.

Nadat er naar deze link werd gesurft, zal de website reageren met:

```
{"time":1432817386,"value":"22"}
```

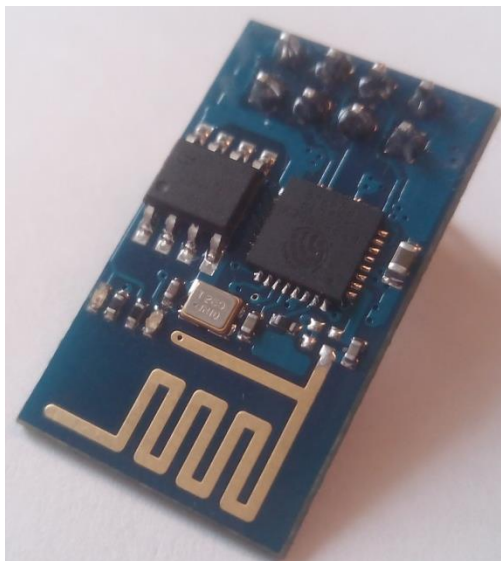
### 2.1.5 WiFi-module (ESP8266)

In januari 2014 is de ESP8266 WiFi-module ontwikkeld die specifiek met Arduino en andere microcontrollers kan werken. Deze mogelijkheid bestond al langer, maar deze andere modules hadden een hoge kostprijs. De ESP8266 heeft een gemiddelde kostprijs van 3 euro.

Enkele toepassingen waarvoor we de ESP8266 kunnen gebruiken is bijvoorbeeld in domotica systemen, schakelbare stopcontacten, IP-camera's, enz.

Een probleem waarop we stuiten was het type WiFi dat de school gebruikt. Het normale netwerk waarop de studenten en leerkrachten inloggen is "PXL". Als beveiligingsmethode heeft men gekozen voor een WPA-Enterprise authenticatie en encryptie. Deze authenticatie werkt met een voor ieder individueel gebruikersnaam en wachtwoord. Dit type beveiliging biedt superieure beveiliging tegenover andere methodes.

Aangezien de ESP8266 maar een "simpele" module is, ondersteunt deze enkel WPA, WPA2 en WPS. Gelukkige zijn er nog andere draadloze netwerken aanwezig. Zo is er "PXL-Guest" en "PXL-OPEN". Na bespreking met de stage-mentor kon er voor gezorgd worden dat we toegang kregen op het PXL-OPEN netwerk. Dit netwerk is zoals de naam suggereert "open" maar beschikt over een MAC-adres filtering. Dit adres heeft een uniek identificatienummer dat toegewezen wordt aan apparaten in een ethernetnetwerk. Wanneer het MAC-adres niet als uitzondering toegevoegd wordt in het netwerk kan dit apparaat geen verbinding maken.



Figuur 7: ESP8266 Wi-Fi module

Er zijn een aantal voorwaarden waarmee we rekening moeten houden bij het gebruik van de ESP8266.

De ESP8266 is een 3.3V module. De 5V van de voeding zal omgevormd moeten worden naar 3.3V.

Aangezien de Arduino TX ook in verbinding staat met de RX van de ESP8266 komt op deze pin 5V. Een manier om dit te doen is door gebruik te maken van een spanningsdeler. We hebben dit getracht toe te passen maar dit stoort de seriële communicatie tussen de ESP8266 en de Arduino. Een andere methode om dit op te lossen is gebruik te maken van een "logic level shifter". Dit hebben wij niet toegepast om dat dit de complexiteit van de logger verhoogt.

Er moet rekening gehouden worden dat de voeding voldoende stroom kan leveren zonder dat er een spanningsval is. Anders kan dit problemen geven bij het gebruik van de ESP8266.

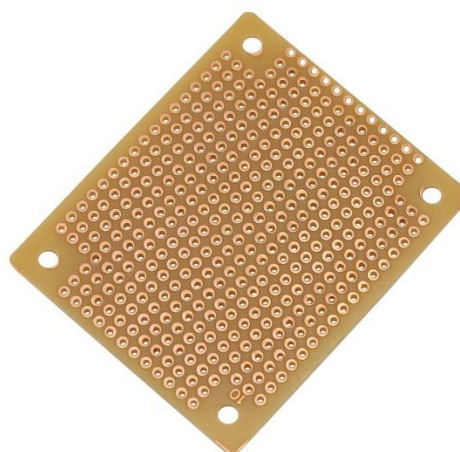
Het kan interessant zijn om de communicatie tussen de Arduino en de ESP8266 te kunnen lezen. Hiervoor hebben we een seriële debug poort voorzien op de printplaat.

### 2.1.6 De printplaat

We hebben ons geïnformeerd bij een leerkracht Elektronica over de mogelijkheid om zelf een printplaat te ontwikkelen voor onze logger. We kregen de raad om alle componenten rechtstreeks te solderen op de Arduino. Het ontwikkelen van een printplaat neemt veel tijd in beslag. Ook is er ervaring nodig in elektronica die wij als studenten Elektro-Mechanica niet hebben.

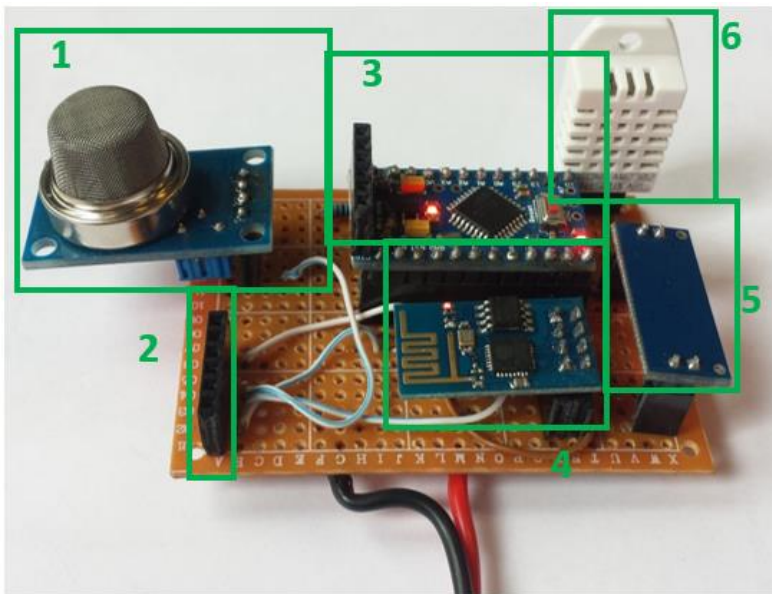
Om toch tot een mooi geheel te komen, hebben we gekozen voor een "Do it yourself printplaat" of "perfboard". Dit type printplaat heeft aan 1 kant koperen plaatjes waarop we kunnen solderen. Aan de andere kant kan er dan de elektronica geplaatst worden.

De voordelen van zo een perfboard zijn dat we snel en goedkoop alle componenten kunnen bevestigen. Het nadeel is dat men slechts aan 1 kant van het perfboard kan solderen en de verbindingen niet mag kruisen. Voor complexere verbindingen zoals de ESP8266 betekent dit dat we extra verbindingen moeten leggen met kabels.



Figuur 8: Perfboard [8]

### 2.1.6.1 Prototype logger



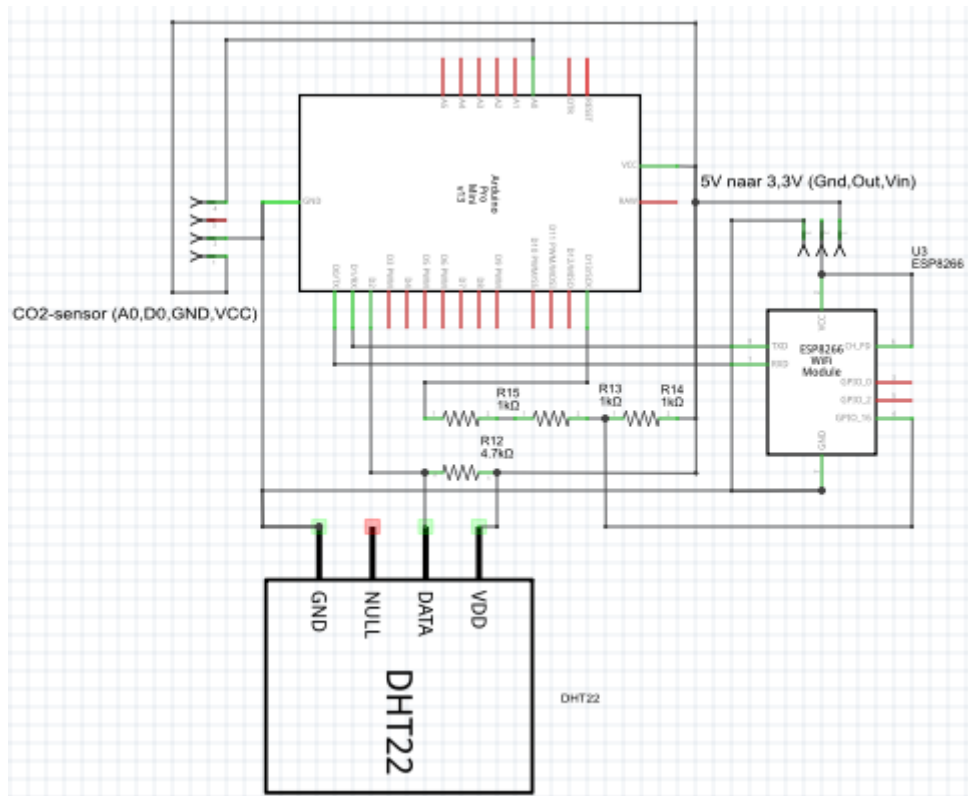
1. MQ135 sensor
2. Seriële debug poort
3. Arduino Pro Mini
4. ESP8266
5. 5V naar 3.3V
6. DHT22 sensor

Figuur 9: Prototype logger

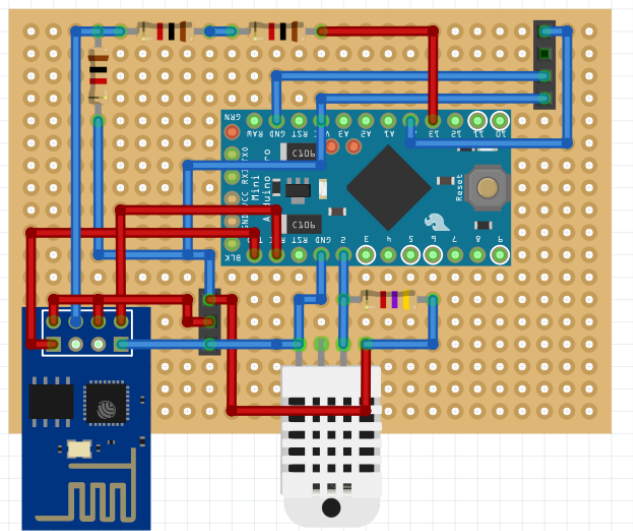
### 2.1.6.2 Bedrading logger Arduino Pro Mini

**Opmerking:** door de beperkingen van het perboard kunnen we geen kruisende verbindingen hebben. De verbindingen in het rood moeten bedraad worden.

Op de "GND" en "RAW/Vin" wordt de 5 volt voeding aangesloten. Dit doen we aangezien de voeding een 5,4V aan de Arduino voedt. Door de plus op "RAW/Vin" aan te sluiten gaat de interne voltageregulator van de Arduino voor een zuivere 5V zorgen.

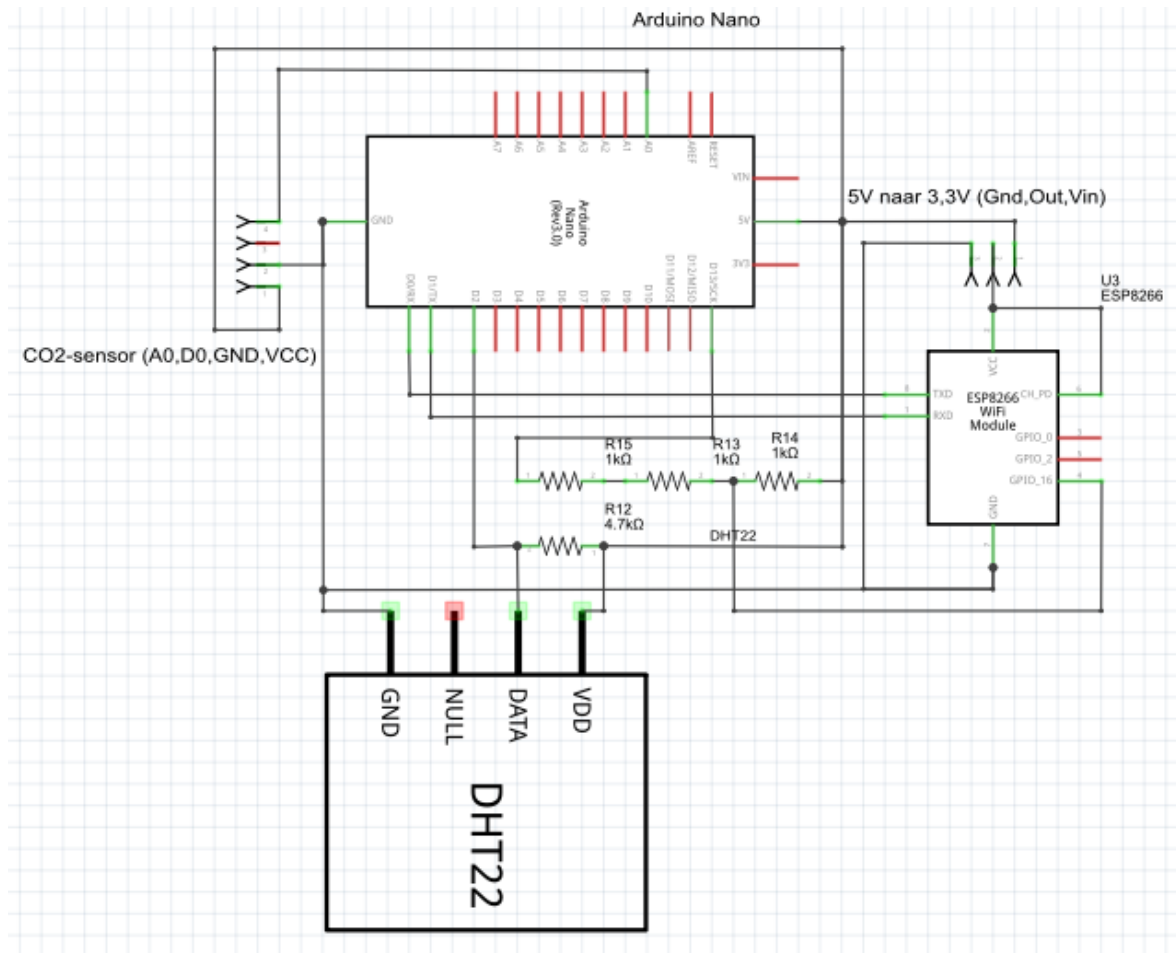


Figuur 10: Bedradingschema Arduino Pro Mini logger



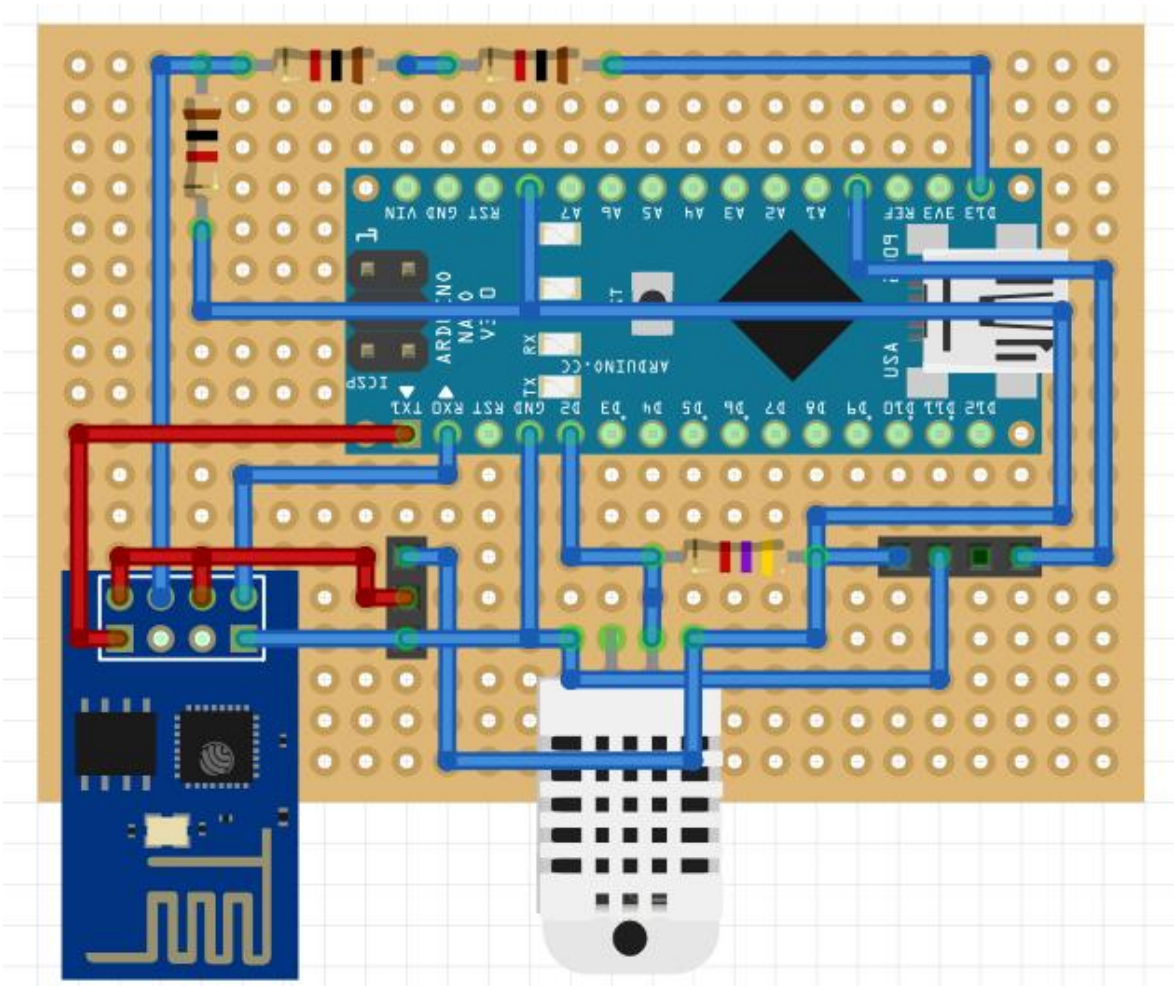
Figuur 11: Printplaat Arduino Pro Mini logger

### 2.1.6.1 Bedrading logger met Arduino Nano



Figuur 12: Bedradingsschema Arduino Nano logger





Figuur 13: Printplaat Arduino Nano logger

## 2.1.7 De code

De microprocessor op de Arduino moet instructies krijgen. Deze instructies of code wordt geschreven in een taal die gebaseerd is op C/C++. De volledige code met extra uitleg vindt u in bijlage 4. In onderstaande paragraaf leggen we de belangrijkste delen uit.

```
1. String GET1 = "GET /input/post.json?json={";
2. String GET2 = ":";
3. String GET2A = ",";
4. String GET3 = "}&apikey=XXX HTTP/1.1";
5. String GET4 = "\r\nHost: emoncms.org\r\nUser-Agent: ARDUINO-ESP8266\r\nConnection: close\r\n\r\n";
```

In dit stukje code specificëren we de delen die nodig zijn om een correcte http-request te vormen. We moeten dit in een string vormen zodat we het aantal karakters kunnen tellen. Een ander aandachtspunt is de “\r\n”. Deze symbolen zorgen er voor de volgende boodschap naar de ESP8266 verstuurd wordt:

```
“GET /input/post.json?json={}&apikey=XXX HTTP/1.1
Host: emoncms.org
User-Agent: ARDUINO-ESP8266
Connection: close”
```

```
1. Serial.println("AT+CWMODE=1");
2. delay(2000);
3. String cmd1="AT+CWJAP=\"";
4. cmd1+=WIFIInaam;
5. cmd1+="\", \"";
6. cmd1+=Paswoord;
7. cmd1+="\"";
8. Serial.println(cmd1);
9. delay(10000);
10. }
```

In dit stuk code geven we de ESP8266 instructies om te verbinden met het netwerk. We geven eerst de instructie: “AT+CWMODE=1”. Dit betekent dat de ESP8266 als “cliënt” moet fungeren op het netwerk. We kunnen ook kiezen voor modus 2 (ESP8266 als “acces point”) of modus 3 (ESP8266 als “cliënt” en “acces point”). Vervolgens geven we de instructie “AT+CWLAP=“PXL-OPEN”,,” ”. Dit betekent dat de ESP8266 moet verbinden met het “PXL-OPEN” netwerk.

```

1. { int Co2PPM1 = gasSensor.getPPM();
2.   int Co21RZERO = gasSensor.getRZero();
3.   delay(3000);
4.   int Co2PPM2 = gasSensor.getPPM();
5.   int Co22RZERO = gasSensor.getRZero();
6.   delay(3000);
7.   int Co2PPM3 = gasSensor.getPPM();
8.   int Co23RZERO = gasSensor.getRZero();
9.   delay(3000);
10.  int Co2PPM4 = gasSensor.getPPM();
11.  int Co24RZERO = gasSensor.getRZero();
12.  delay(3000);
13.  int Co2PPM5 = gasSensor.getPPM();
14.  int Co25RZERO = gasSensor.getRZero();
15.  float Co2PPMtot1 = Co2PPM1+Co2PPM2+Co2PPM3+Co2PPM4+Co2PPM5;
16.  float Co2PPMGem = Co2PPMtot1 / 5;
17.  float Co2RZEROt1 = Co21RZERO+Co22RZERO+Co23RZERO+Co24RZERO+Co25RZERO;
18.  float Co2RZEROGem = Co2RZEROt1 / 5;
19.  float Vocht = dht.getHumidity();
20.  float Temp = dht.getTemperature();

```

Vervolgens lezen we elke drie seconden de analoge waarde van de CO<sub>2</sub>-sensor uit. Daarna nemen we de gemiddelde waarde van vijf van deze metingen. Dit doen we om eventuele beïnvloeding van rondwandelede mensen te dempen.

```

1.   String cmd2 = "AT+CIPSTART=\\"TCP\\",\\"";
2.   cmd2 += Site;
3.   cmd2 += "\\",80";
4.   Serial.println(cmd2);
5.   if (Serial.findUntil("Linked", "Linked"))
6.   {
7.     String cmd3 = GET1;
8.     cmd3 += "ESP1F108Temp";
9.     cmd3 += GET2;
10.    cmd3 += Temp;
11.    cmd3 += GET2A;
12.    cmd3 += "ESP1F108Vocht";
13.    cmd3 += GET2;
14.    cmd3 += Vocht;
15.    cmd3 += GET2A;
16.    cmd3 += "ESP1F108Co2PPM";
17.    cmd3 += GET2;
18.    cmd3 += Co2PPMGem;
19.    cmd3 += GET2A;
20.    cmd3 += "ESP1F108Co2RZERO";
21.    cmd3 += GET2;
22.    cmd3 += Co2RZEROGem;
23.    cmd3 += GET3;
24.    cmd3 += GET4;
25.    Serial.print("AT+CIPSEND=");
26.    Serial.println(cmd3.length());
27.    if(Serial.find(">"))
28.    {
29.      Serial.print(cmd3);

```

De volgende stap is het openen van een link naar de Emoncms server. Dit doen we met het commando: "AT+CIPSTART= "TCP","Emoncms.org",80". Wanneer de ESP8266 reageert met "linked" gaat de Arduino verder met het vormen van de string "cmd3". Vervolgens gebruiken we het commando "AT+CIPSEND=cmd3.length()" om het bericht te verzenden. Wanneer de ESP8266 het symbool ">" verzendt naar de Arduino reageert deze met de string "cmd3".

```

1. if (Serial.find("Unlink"))
2.     {}
3.     else
4.     {
5.         Serial.println("AT+RST");
6.     }

```

De volgende stap is een controle of de ESP8266 nog verbonden is met de server. Wanneer er na het doorsturen van de gegevens geen “unlink” commando gevonden wordt zal de Arduino de ESP8266 module resetten. Zolang de gegevensverbinding open is, kunnen er geen nieuwe gegevens verzonden worden. Dit komt omdat het aantal karakters gespecificeerd in “AT+CIPSEND=...” niet overeenkomt met de lengte van het bericht.

```

1.     else
2.     {
3.         digitalWrite(ResetPin,LOW);
4.         Serial.println("Gerreset");
5.         delay(1000);
6.         digitalWrite(ResetPin,HIGH);
7.         delay(5000);
8.         Serial.println("AT+CWMODE=1");
9.         String cmd1="AT+CWJAP=\ ";
10.        cmd1+=WIFInaam;
11.        cmd1+="\","\"";
12.        cmd1+=Paswoord;
13.        cmd1+="\"";
14.        Serial.println(cmd1);
15.    }
16. }

```

De laatste stap is een controle. Wanneer we verbinding maken met de Emoncms.org server en de ESP8266 is niet verbonden (geen “linked” ontvangen) is er een probleem. Dit kan te maken hebben met netwerkfout, hardware bug, ... De enige manier om dit op te lossen is de ESP8266 module te “hard” resetten. Dit doen we door de Arduino pin 13 “low” te schrijven. Op dit moment komt er gedurende 1 seconde een massa signaal op de reset pin van de ESP8266. Daardoor zal deze module resetten en terug opstarten.

### 2.1.8 De prijslijst

<b>Onderdelenlijst Arduino meting</b>		
<b>Aantal</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Prijs</b>
1	Arduino pro mini	€ 2,00
1	ESP8266	€ 2,20
1	MQ135	€ 1,90
1	DHT22	€ 2,80
2	Vrouwelijke header pin	€ 0,30
2	Mannelijke header pin	€ 0,30
6	Weerstand 1 kOhm 1/8W	€ 0,30
1	5V naar 3,3V omvormer	€ 0,90
1	Voeding 5V-500ma	€ 0,60
1	DIY Perfboard	€ 0,15
1	PXL geprinte behuizing	X
	<b>Totaal:</b>	<b>€ 11,30</b>

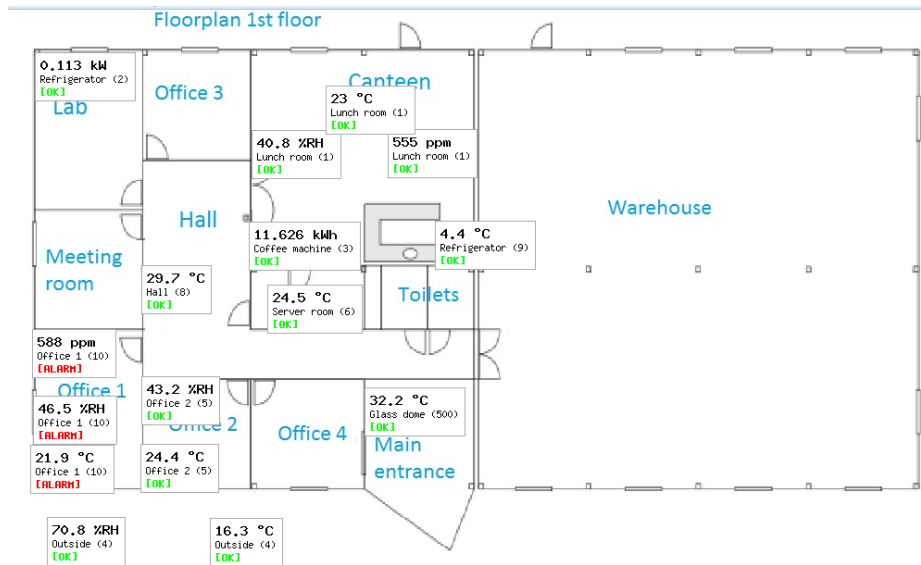
Tabel 2: Onderdelenlijst Arduino meter

## 2.2 Vergelijking met commerciële loggers

Om het door ons ontwikkelde systeem te vergelijken met bestaande systemen, hebben we contact opgenomen met een vertegenwoordiger van loggers. We hebben een demo gekregen van de meettoestellen van Wisensys en Delta ohm. Deze sensoren van beide merken loggen CO<sub>2</sub>, temperatuur en vochtigheid. Ook sturen deze logger hun gegevens naar een lokale database.

Na bespreking met de vertegenwoordiger bleek dat de producten van Wisensys in ons geval beter zouden zijn. De meters van Delta Ohm hebben dezelfde functie, maar zijn uitgerust met een batterij en een design behuizing. Dit maakt dat de meter duurder is. Ook heeft Wisensys meer producten dan enkel comfortmetingen. Men kan gebruik maken van andere meettoestellen zoals energiemeters, stookplaatsmonitoring, pulstellers en andere.

Het Wisensys toestel dat CO<sub>2</sub>, temperatuur en vochtigheid meet is het WS-DLC model. Deze meter stuurt de gegevens met behulp van een draadloos signaal op 870 Mhz naar een modem. De modem is het WS-BU model en verzamelt alle gegevens en wisselt deze uit met een computer. De computer legt deze gegevens vast in een database die te allen tijde geraadpleegd kan worden via het Websensys platform. In dit platform is het mogelijk om de verschillende meetwaarden in kaart te brengen, zichtbaar op onderstaande figuur (figuur 14).



Figuur 14: Websensys vloerplan

## 2.3 Kostprijs vergelijking

Als laatste stap maken we een financiële vergelijking tussen de Arduino- en de Wisensys logger systeem. In tabel 3 en 4 vindt u de kostprijs berekening voor 12 klaslokalen in de F-blok.

<b>Logging klaslokalen F-blok met Arduino</b>			
<b>Aantal</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Eenheidsprijs</b>	<b>Totaal prijs</b>
12	Arduino loggers	€ 30,00	€ 360,00
8	Werkuren installatie+instellen	€ 35,00	€ 280,00
		<b>Totaal:</b>	<b>€ 640,00</b>

Tabel 3: Kostprijs logging met Arduino

<b>Logging klaslokalen F-blok met Wisensys</b>			
<b>Aantal</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Eenheidsprijs</b>	<b>Totaal prijs</b>
12	WS-DLC	€ 425,00	€ 5.100,00
1	Basestation met RS485	€ 530,00	€ 530,00
1	Software sensorgraph	€ -	€ -
8	Werkuren installatie+instellen	€ 35,00	€ 280,00
		<b>Totaal:</b>	<b>€ 5.910,00</b>

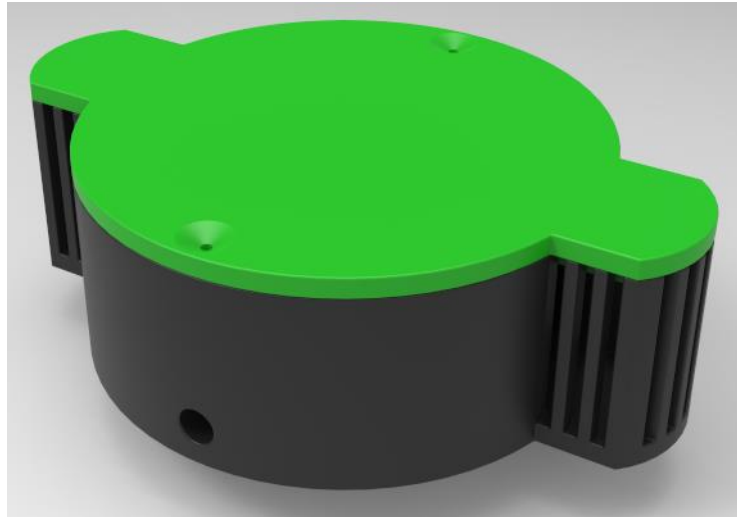
Tabel 4: Kostprijs logging met Wisensys

## 2.4 Mogelijke verbeteringen

Tijdens het ontwikkelen van de logger hebben we een aantal extra ideeën opgedaan. Ook zijn we op een aantal problemen gestuit. Aangezien we gelimiteerd waren in tijd hebben we niet alle paden kunnen bewandelen. In de volgende paragrafen doen we een opsomming van welke aanpassingen er eventueel in volgende versies gedaan kunnen worden.

### 2.4.1 Printen van een behuizing

Om tot een mooi geheel te komen, was er het idee om een behuizing te 3D-printen. We hebben met Solidworks een mogelijke behuizing getekend op maat van de gebruikte componenten. Wegens tijdgebrek werd deze nog niet geprint. De onderstaande figuur (figuur 15) illustreert een mogelijke behuizing. Bij het ontwerp werd rekening gehouden met het ronde logo van de hogeschool PXL. In de uitstekende ruimtes kan aan elke kant een sensor bevestigd worden.



Figuur 15: Behuizing concept voor de logger

### 2.4.2 Loggen van andere waarden

Tijdens onderzoek naar de loggers van Wisensys kregen we het idee dat de logger ook omgebouwd kan worden naar een stookplaatsmonitoring systeem. Een stookplaatsmonitoring systeem logt de temperatuur op de aanvoer- en retourleidingen. Dit maakt het mogelijk om eventuele uitval van de verwarming te detecteren. Ook is het mogelijk om eventueel de gebruikersuren van de verwarming te berekenen.

De manier waarop dit gedaan kan worden, is met behulp van temperatuursensoren. Het is mogelijk om hiervoor de DS18B20 sensoren te gebruiken. Deze sensoren hebben een meetbereik van  $-55^{\circ}\text{C}$  tot  $125^{\circ}\text{C}$  kunnen dus zowel verwarming- als koelinstallaties loggen. Ook zijn deze sensoren in een waterdichte behuizing verkrijgbaar [9].



### 2.4.3 Nauwkeurigere CO<sub>2</sub>-sensor

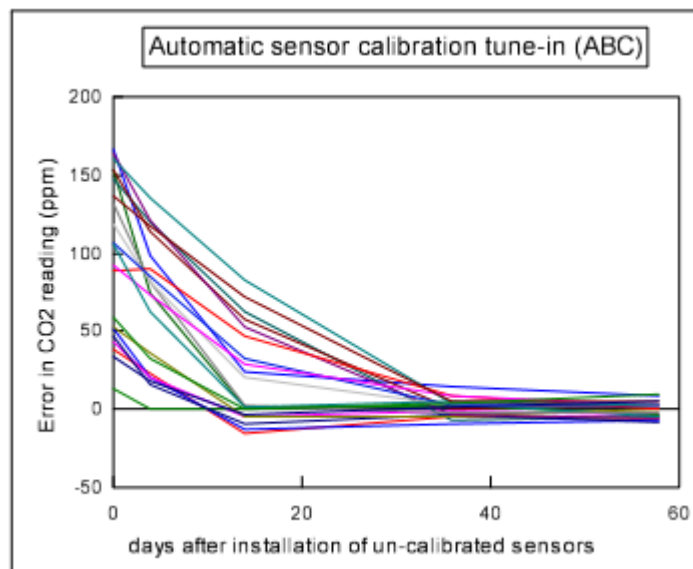
De zwakste schakel in het ontwerp is de keuze van de CO<sub>2</sub>-sensor. Deze sensor werkt, maar zijn onnauwkeurigheid en gebrek aan een studie over de levensduur is een probleem. Dit is een probleem wanneer deze logger permanent opgesteld zou worden in een klaslokaal en men zou afhankelijk van de gemeten waarde de verwarming of ventilatie sturen. Een oplossing hiervoor is gebruik maken van een betere CO<sub>2</sub>-sensor, bijvoorbeeld de K30 van het merk CO2Meter.



Figuur 16: K30 CO<sub>2</sub>-sensor [11]

De K30-sensor is een “non-dispersive infrared sensor” of “NDIR” in het kort. Deze sensor maakt gebruik van een infrarood bron, een meetruimte, een golflengte filter en een infrarood detector. Afhankelijk van de samenstelling van het gemeten gas gaat de hoeveelheid van het uitgezonden infrarood licht gedetecteerd worden [10].

De K30 sensor heeft verschillende voordelen. De sensor kent een accurate werking die zich vertaalt in een levensduur van +15 jaar. Ook heeft de sensor de mogelijkheid om zelf te kalibreren door middel van de eerder besproken “ABC logic” berekening. Deze berekening wordt toegepast op de microprocessor van de sensor en moet dus niet berekend worden door de Arduino. In onderstaande figuur (figuur 15) kunnen we een grafiek zien waar men de verschillende meetwaarden van fout gekalibreerde CO<sub>2</sub>-sensoren in kaart brengt. De onnauwkeurige CO<sub>2</sub>-sensoren hebben echter allemaal de mogelijkheid tot zelfkalibratie met de ABC logic en hebben een acceptabele meetfout na 35 dagen [11] [12].



Figuur 17: Grafiek meetfout met ABC logic [11]

Ten slotte is er een eenvoudige communicatie tussen de Arduino en de K30 sensor mogelijk. De communicatie kan gemakshalve over het I2C-bus gaan. Het grootste nadeel van dit type sensor is de kostprijs. Met een kostprijs van ongeveer 77,00 euro wordt de totaalprijs van de logger sterk beïnvloed.

## 2.4.4 Logger op batterijen

Misschien is het interessant om van de logger een portabele versie te ontwikkelen voor ondernemingen die ventilatie plaatsen. Op deze manier kan men bijvoorbeeld problemen met de luchtkwaliteit loggen bij klanten. Een voordeel zou dan zijn dat de logger op batterijen werkt. Dit is met het huidige prototype wel mogelijk, maar het energieverbruik (400mA op 5V) is te hoog om een meting van bruikbare duur uit te voeren. Wanneer we de bovenstaande energiezuinige CO<sub>2</sub>-sensor zouden gebruiken en de ESP8266 in slaapstand plaatsen, kan het energieverbruik drastisch teruggeschroefd worden.

## 2.5 Uitvoering van een logging

### 2.5.1 Meetopstelling

We hebben de logger geplaatst in de F-blok in lokaal F108. De capaciteit van dit lokaal is +/- 70 personen. De logger werd op 1 meter van de deur, 1 meter van de grond en 1 meter van de hoek van het lokaal geplaatst.

### 2.5.2 CO<sub>2</sub>

We hebben de meting gestart op donderdag 23/04/2015 om 00.00 uur. Wanneer we 's morgen om 8.30u de waarde gingen aflezen, konden we vaststellen dat de CO<sub>2</sub>-waarde 1000 ppm was. Deze waarde ligt al aan de hoge kant. Reden hier van is dat alle vervuilde lucht van de tegenoverliggende lokalen via dit lokaal naar buiten stroomt. Maar aangezien de raamroosters niet voldoende debiet kunnen genereren, zal niet alle vervuilde lucht naar buiten kunnen gaan. De reden van deze luchtstroming komt waarschijnlijk door het principe van onder en overdruk van een gebouw. Naar gelang de windrichting op het gebouw verandert, gaat de luchtstroming binnen in het gebouw veranderen.

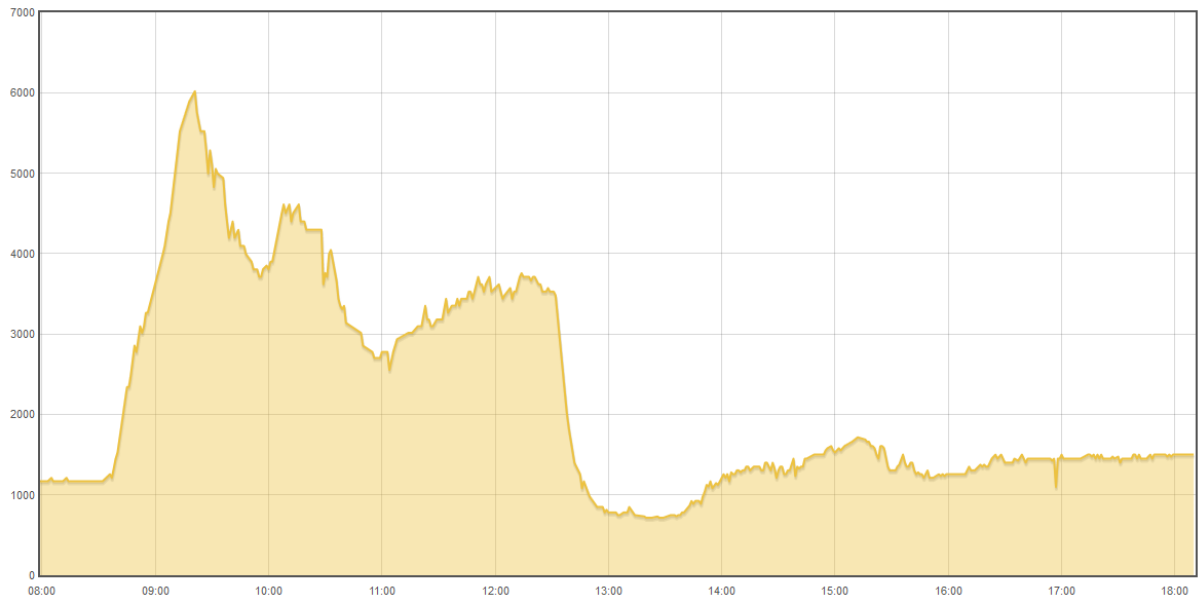
Om 8u30 is de les begonnen en waren we met 35 personen aanwezig. Na ongeveer een halfuurtje les steeg de CO<sub>2</sub>-waarde naar een niveau van  $\pm$  4500 ppm. Deze waarde ligt al 4,5 keer boven de normale CO<sub>2</sub>-concentratie en brengt hoofdpijn, slaperigheid en een onwel gevoel met zich mee.

Om 9u20 was de CO<sub>2</sub>-waarde verder gestegen naar 6100 ppm, op dit moment werd er achteraan in het lokaal een raam geopend. We kunnen op de grafiek aflezen dat de CO<sub>2</sub>-waarde gaat dalen. Maar de gemiddelde waarde ligt nog steeds rond de 4000 ppm wat nog steeds te hoog is.

De eerste pauze start om 10u30. Het raam bleef gedurende de pauze open. De CO<sub>2</sub>-waarde in het lokaal daalde naar 2700 ppm. Na de pauze stijgt de waarde geleidelijk aan naar een waarde van 3500 ppm.

Om 12u30 lag de CO<sub>2</sub>-waarde nog steeds rond de 3500 ppm. Nu ging de middag pauze van start en werden er 3 ramen geopend in het lokaal. Als we de grafiek analyseerde, konden we vaststellen dat de CO<sub>2</sub>-waarde daalde naar een gemiddelde waarde van 800 ppm, dit is een aanvaardbare waarde en voelt aangenaam aan.

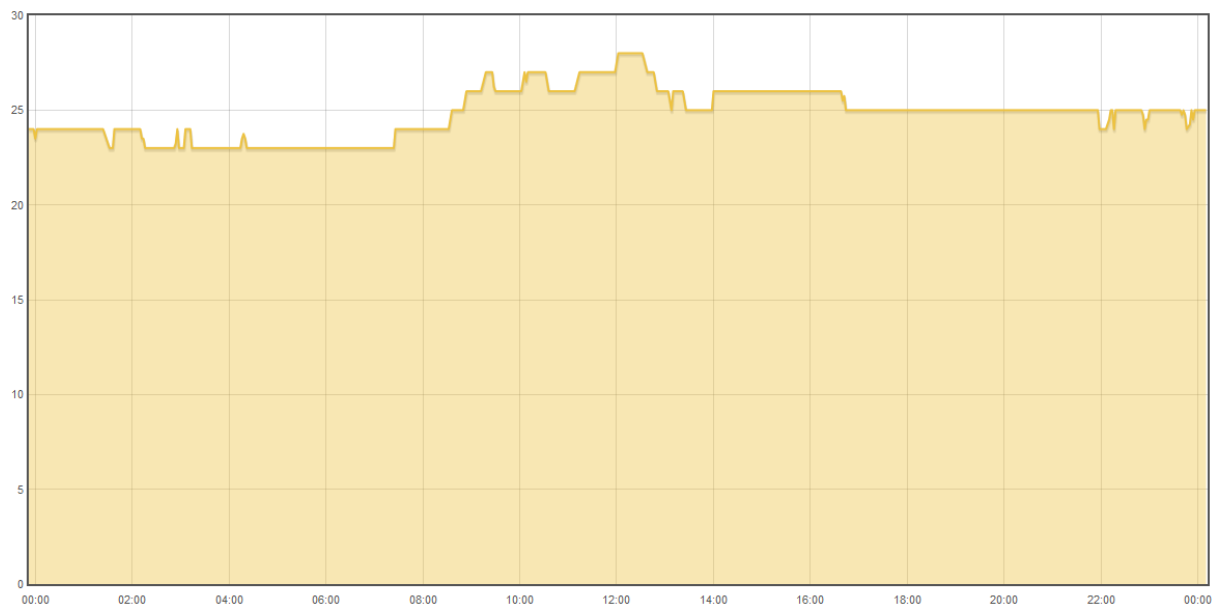
De lessen startten opnieuw om 13:45. De ramen die voor de pauzen geopend werden, bleven open. De CO<sub>2</sub>-waarde in het lokaal gaat niet meer zo snel stijgen als in de voormiddag. De gemiddelde waarde bleef nu schommelen rond een waarde van 1500 ppm gedurende de rest van de lessen, die eindigden om 15u30. De ramen werden gesloten en de CO<sub>2</sub>-waarde bleef ook nu nog constant rond 1500 ppm.



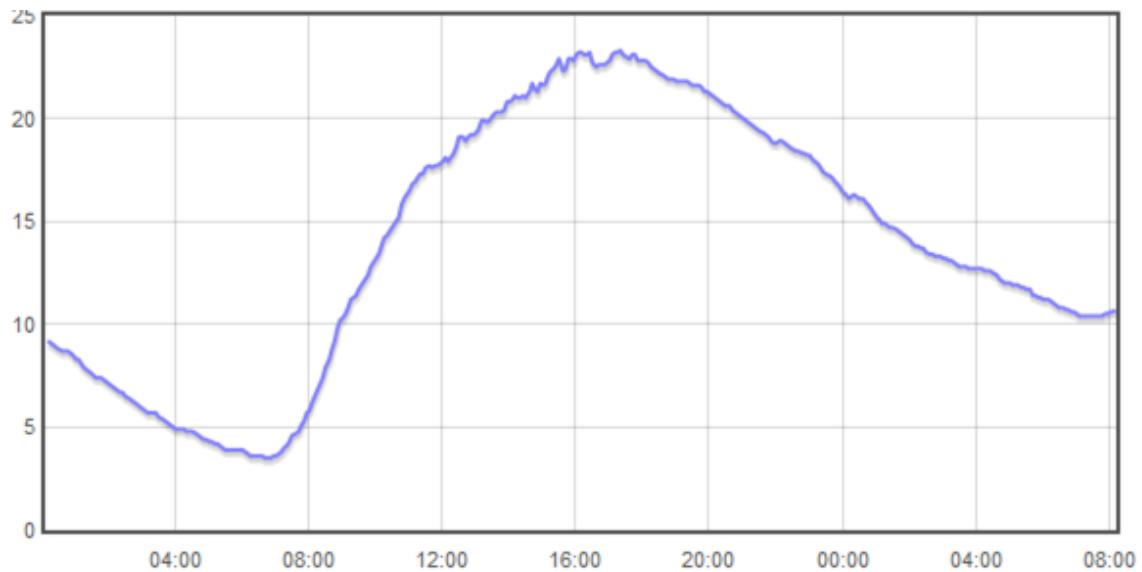
Figuur 18: Grafiek CO<sub>2</sub>-waarde

## 2.6 Temperatuur

Als we het verloop van de temperatuur bekijken, zien we dat de begintemperatuur start op 23 °C. De activiteit en het aantal personen is gelijk aan dat van de CO<sub>2</sub>-meting. Op de grafiek is te zien dat de temperatuur stijgt naar een maximum waarde van 28°C. Deze waarde ligt aan de hoge kant maar als je gaat kijken naar de grafiek van de buitentemperatuur kan je zien dat de buitentemperatuur ook een waarde heeft van 23,5°C. Wanneer we nu gebruik zouden maken van een ventilatiesysteem zouden we de temperatuur dichterbij de 23,5°C kunnen houden in plaats van 28°C.



Figuur 19: Grafiek binnen temperatuur



Figuur 20: Buiten temperatuur

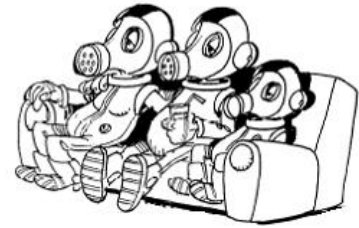
## 2.7 Resultaat

Het resultaat van deze meting was voor ons als student niet schokkend. Doorheen de jaren hebben we les gekregen in verschillende lokalen zonder ventilatie, zowel in de zomer als in de winter. De enige oplossing om de les draagbaar te maken was het openen van een raam, deur of beiden.

De ontwikkelde logger doet duidelijk zijn werk. Het is een eenvoudige manier om gegevens over de luchtkwaliteit te verzamelen en te analyseren. Zoals eerder besproken is er wel nog een zwakke schakel in het ontwerp, namelijk de CO<sub>2</sub>-sensor. Wanneer we deze sensor zouden vervangen door bijvoorbeeld de K30 CO<sub>2</sub>-sensor gaan de meetresultaten nauwkeuriger zijn en stijgt de algemene kwaliteit van de logger.

## 3 Ventilatie

Het binnenklimaat is een belangrijk aspect van het comfort binnenin een gebouw. Wanneer de luchtkwaliteit de wensen overlaat gaan er problemen optreden. Goed ventileren is niet alleen belangrijk voor de mensen die zich in het gebouw bevinden maar ook voor het gebouw zelf.



Wanneer we spreken over binnenklimaat zijn er enkele parameter die daar toe bijdragen. Deze kunnen als volgt worden beschreven:

- Objectieve meetbare parameters zoals temperatuur en luchtvochtigheid.
- Subjectieve parameter zoals de toestand van de persoon.

### 3.1 Luchtsamenstelling

Ideale lucht kunnen we opdelen in volgende componenten:

- 21 % zuurstof
- 79 % stikstof
- Kleine hoeveelheden CO<sub>2</sub>, argon, neon, helium en waterdamp

Het zuurstofgehalte in de lucht is van groot belang: wanneer we minder zuurstof hebben dan krijgen we:

- Hoofdpijn
- Braakneigingen
- Lomheid
- Benauwdheid

Zuurstof: 17% een brandende kaars zal doven, het is nog leefbaar

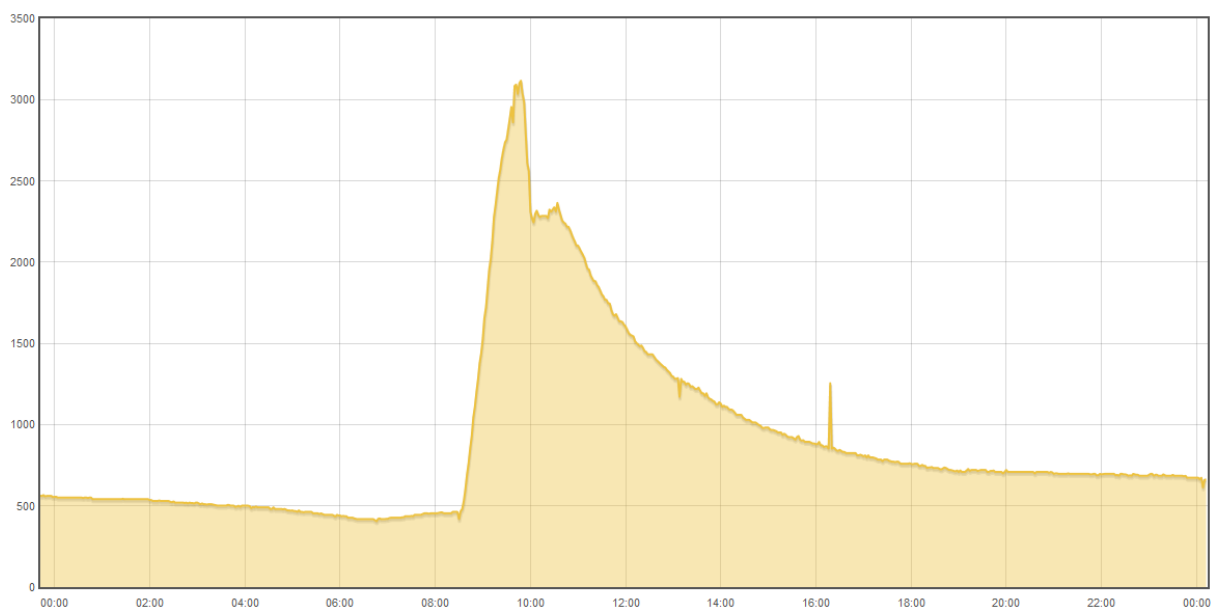
Zuurstof: 13% dit is de ondergrens van leefbaarheid

## 3.2 Ventilatie in de PXL Hogeschool gebouw H

Eén van de grote problemen in het schoolgebouw is de luchtkwaliteit. Deze is beneden alle verwachtingen. Dit is vooral te wijten aan het feit dat er zich veel personen bevinden in één ruimte zonder voldoende ventilatie.

Bij de huidige situatie wordt er gebruik gemaakt van raamroosters, dit is echter geen goede oplossing omdat er te weinig verse buitenlucht naar binnen kan komen. In sommige vleugels van het gebouw komt er zelfs geen buiten lucht naar binnen via de rooster maar gaat er binnenlucht naar buiten.

Wat bedoelen we nu juist met een slechte binnenlucht? Wanneer men 's morgens het lokaal binnen komt is de luchtkwaliteit naar zeggen "goed" maar omdat mensen nu eenmaal in- en uitademen produceren we CO<sub>2</sub> en warmte. Dit wil dus zeggen dat de luchtkwaliteit gaat dalen naarmate er meer personen of een langere bezettingstijd is. We stellen dus vast dat bij de aanvang van de lessen het CO<sub>2</sub> gehalte gelijk is aan 400ppm. Dit gehalte zal zeer snel stijgen omdat we geen ventilatie hebben het lokaal.



Figuur 21: Voorbeeld CO<sub>2</sub> meting wanneer er 1 uur les is geven

Zoals je dus kan zien zal de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in het lokaal zeer snel stijgen. De bovengrens van een aanvaardbaar CO<sub>2</sub> gehalte ligt rond de 1000 ppm. Vanaf dit gehalte is het dringend aangeraden om te gaan ventileren.

### 3.2.1 Onderhoud van het bestaand systeem

In de ventilatiewereld spreken ze van het onderhouden van de ventilatiesystemen. Hierrond hebben we tijdens onze opleiding een opdracht gekregen van onze docent Ventilatie technieken. We demonteerden enkele raamroosters demonteren om te kijken hoe ze er van binnen zouden uitzien en of deze zuiver genoeg waren om zo voldoende verse lucht binnen te brengen. Het is daarom ook nuttig om te bespreken hoe belangrijk het onderhoud van een ventilatiesysteem is.

Raamroosters zijn onderhevig aan grote bevuilding zoals te zien is op onderstaande afbeelding. Aanvankelijk is deze bevuilding vrij normaal omdat er in de lucht stofdeeltje aanwezig zijn die zich na verloop van tijd gaan opstapelen. In figuur 13 hebben we 1 opening van het raamrooster gereinigd om te tonen hoe zwaar de bevuilding is en hoe het raamrooster eruit ziet wanneer hij volledig zuiver zou zijn.



Figuur 22: Raamrooster

We kunnen besluiten dat de bevuilding van de raamroosters zeer hoog is waardoor we een groot vraagteken kunnen zetten bij de toevoer en kwaliteit van verse lucht.

### 3.3 Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)

#### 3.3.1 Wat is koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)

Koolstofdioxide is een natuurlijk component van lucht, ook kooldioxide of koolzuurgas genoemd. Het is een anorganische verbinding van koolstof en zuurstof die volgende formule geeft: CO<sub>2</sub>. Wanneer we het in zuivere toestand vinden, is het een kleurloos en reukloos gas dat in de aardatmosfeer voorkomt.

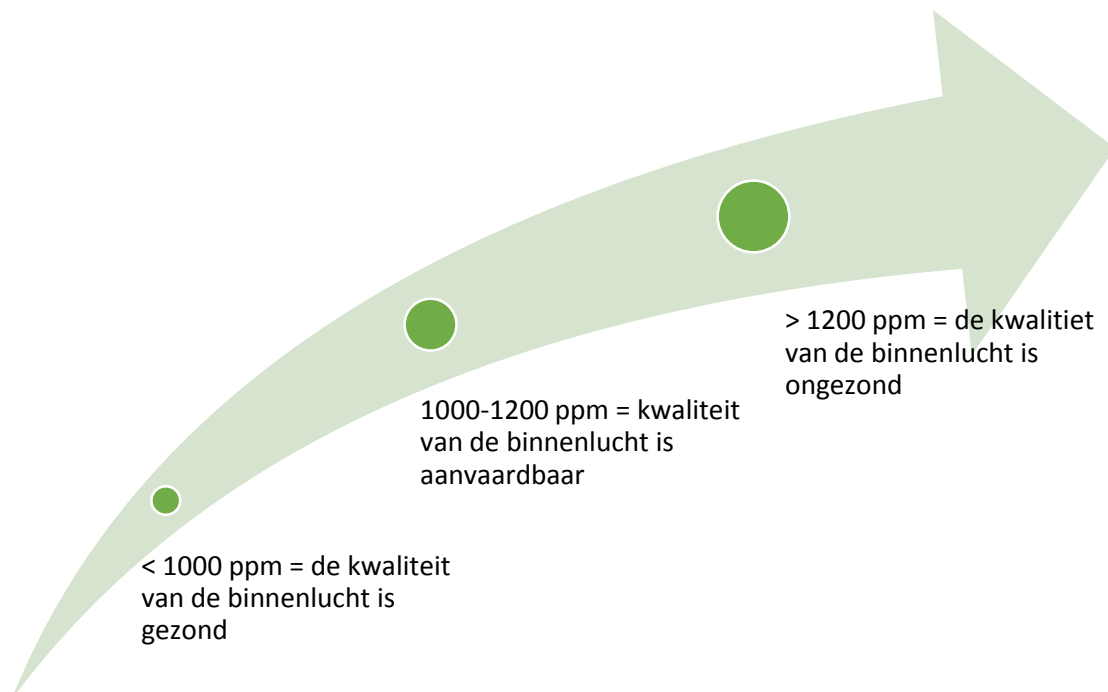
De hoeveelheid CO<sub>2</sub> wordt uitgedrukt in ppm. De buitenlucht bevat meestal 400 ppm in een natuurlijke omgeving. Hogere waarde kunnen we vinden bij drukke wegen, industriezones, enz.

Mensen produceren ook koolstofdioxide door uit te ademen. De hoeveelheid die hierbij vrijkomt bevat 35 000 tot 50 000 ppm (het is ± 100 keer hoger dan de hoeveelheid koolstofdioxide in buitenlucht).

#### 3.3.2 Waarom koolstofdioxide meten

Wanneer we de lucht kwaliteit willen verbeteren met een ventilatiesysteem kunnen we gebruik maken van een sturing die de CO<sub>2</sub>-waarde gaat meten. Vervolgens kunnen we het ventilatiesysteem aansturen zodat er voldoende verse lucht in de ruimte wordt binnen gebracht. Dit is belangrijk wanneer je op een energie efficiënte manier wilt gaan ventileren.

#### 3.3.3 Wanneer is de hoeveelheid koolstofdioxide te hoog



Figuur 23: Kwaliteit van binnenlucht volgens de CO<sub>2</sub>-waarde



Wanneer er een teveel aan CO<sub>2</sub> is, gaan er verschillende klachten optreden:

- Geurhinder
- Warmteklachten
- Hoofdpijn
- Vermoeidheid en sufheid
- Slijmvliesirritaties en andere sick building klachten

### **3.3.4 Besluit**

We kunnen vaststellen dat de luchtkwaliteit heel afhankelijk is van de hoeveelheid CO<sub>2</sub>. En dat waarde boven 1000 ppm schadelijk zijn voor de gezondheid en kunnen lijden tot ziekte. Om het probleem van te veel CO<sub>2</sub> op te lossen, zullen we ervoor moeten zorgen dat de ruimten in het gebouw voldoende geventileerd worden.

## **3.4 Voorstellen om ventilatie te integreren in het PXL-TECH gebouw**

### **3.4.1 Inleiding**

Het zou een grote verbetering zijn moest er een ventilatiesysteem geïntegreerd worden in de gebouwen van PXL-Tech. Dit is niet overal even gemakkelijk te voorzien omdat een ventilatiesysteem nu eenmaal veel plaats vergt. En aangezien we spreken over leslokalen zal het volume luchtverversing hoog moeten zijn omdat er veel personen in één ruimte aanwezig zijn. Hieronder vindt u enkele redenen waarom we de ventilatie willen optimaliseren:

- Onvoldoende ventilatie, slecht binnenklimaat.
- Ventileren vindt plaats ook wanneer het niet nodig is (energie verspilling).
  - Ventilatie wordt nu niet gestuurd ( open is open, ook om 3u 's nachts, winter en zomer).
  - Ventilatie niet afhankelijk van de bezetting van het lokaal
- Slechte isolatiewaarde van de ventilatieroosters.

## 3.4.2 Voorstellen voor verbetering van de ventilatie

### 3.4.2.1 Voorstel 1: Elektronisch regelbare raamroosters

Als eerste voorstel zouden we willen gebruik maken van elektronisch regelbare raamroosters voor de toevoer van verse lucht. Via doorvoeropeningen in de muren en/of deuren gaan we de vervuilde lucht afvoeren in de gang. Om dit principe te kunnen toepassen moet de gang constant in onderdruk gehouden worden zodat de vervuilde lucht naar de gang stroomt en de verse lucht naar binnen.

#### **Voordelen:**

- bestaande ventilatieroosters blijven behouden mits enkele aanpassingen.

#### **Nadelen:**

- Er is een groot debiet nodig in de gang om zo ervoor te zorgen dat er voldoende onderdruk in de gang is, om alle vervuilde lucht uit de lokalen te verwijderen.
- Het is bijna onmogelijk om warmte recuperatie toe te passen zodat er minder warmteverlies zal optreden.

Als tweede puntje bij dit voorstel zouden we de vervuilde lucht uit een ruimte kunnen afvoeren via een buizensysteem.

#### **Voordelen:**

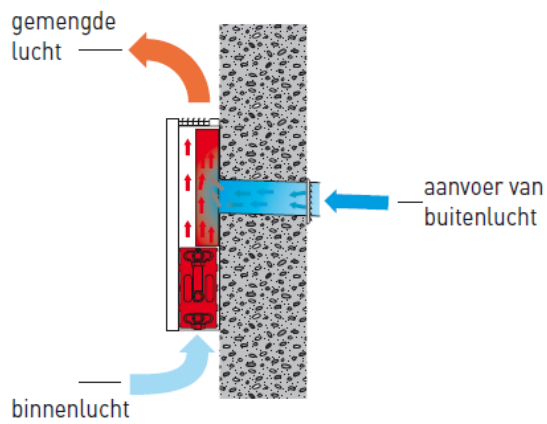
- Er is geen onderdruk nodig in de gang, dus geen tocht gevoel.

#### **Nadelen:**

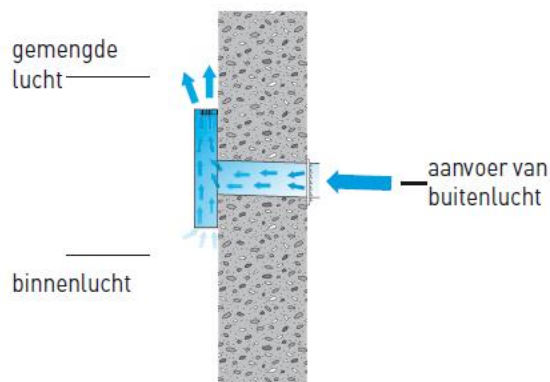
- Er moeten overal buizen geplaatst worden en dit neemt heel veel tijd en ruimte in beslag,
- Niet erg esthetisch: het oog wil ook wat.

### 3.4.2.2 Voorstel 2: Jaga refresh unit

Als tweede voorstel dachten we eraan om gebruik te maken van een systeem van Jaga de refresh unit. De toevoer van verse lucht gebeurt door de bestaande radiatoren te vervangen door low H<sub>2</sub>O radiatoren van Jaga. Dit kan gecombineerd worden met de refresh unit die Jaga heeft ontwikkeld om verse buiten lucht gecontroleerd naar binnen te halen. Er kan ook gekozen worden voor enkel de refresh unit.



Figuur 24: Refresh unit met Low H2O radiator [13]



Figuur 25: Refresh unit zonder Low-H2O radiator [13]

Voor de afvoer van vervuilde lucht gaan we opnieuw gebruik maken van het principe dat uitgelegd staat in voorstel 1.

**Voordelen:**

- De koude buiten lucht kan worden opgewarmd door de low-H<sub>2</sub>O radiator.
- De hoeveelheid verse lucht kan worden geregeld.
- De toevoer van verse lucht kan ook worden afgesloten.

	ventilatie	ventilatie & recirculatie	recirculatie
Stand van de recirculatieknop			
Stand van sluitmechanisme > (opening luchtdoorlaat)			
Recirculatie-opening	0%	50%	100%

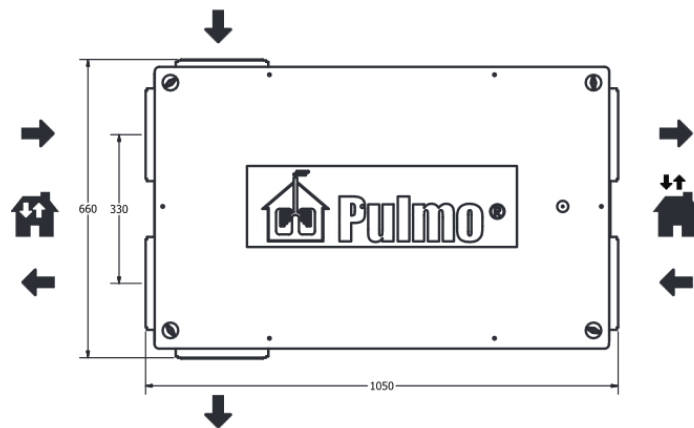
Figuur 26: Stand van recirculatieknop [13]

#### Nadelen:

- Er is geen mogelijkheid om warmte te recupereren.
- Er is een grote installatie kost omwille van het vervangen van de radiatoren, boren van de openingen in de buiten muur, enz.
- Wanneer de verwarming gedeactiveerd is en de ventilatie geactiveerd, dan zal er tocht ontstaan. Dit betekent een laag comfort niveau.
- Er is geen integratie op het gebouwbeheersysteem mogelijk.

#### 3.4.2.3 Voorstel 3: Aeropulmo project (systeem D)

Bij dit voorstel wordt er gebruik gemaakt van een systeem D per lokaal. Het toestel dat we hiervoor zouden gebruiken is van het type Aeropulmo project.



Figuur 27: Aeropulmo [14]

Wanneer we deze unit gaan gebruiken zullen we er meerderen moeten plaatsen per leslokaal. Reden: we kunnen dan elke unit apart gaan aansturen en zo het debiet afstemmen op de bezetting. Op deze wijze zal de overshoot van de installatie beperkt kunnen worden, zo kunnen we de units die niet nodig zijn op bepaalde momenten gaan deactiveren om zo energie te besparen tot als de ventilatievraag in het lokaal weer gaat stijgen.

Na het opmeten van het lokaal en enkele berekeningen stoten we op enkele problemen:

- Het verlaagd plafond is niet overal hoog genoeg om een ventilatiebuis te plaatsen daarom zijn we met het idee gekomen om elke unit in een uitsparing te plaatsen. De ruimte hier tussen is net groot genoeg om het toestel in te plaatsen.



Figuur 28: Foto van ruimte boven het vals plafond met dwarsbalken

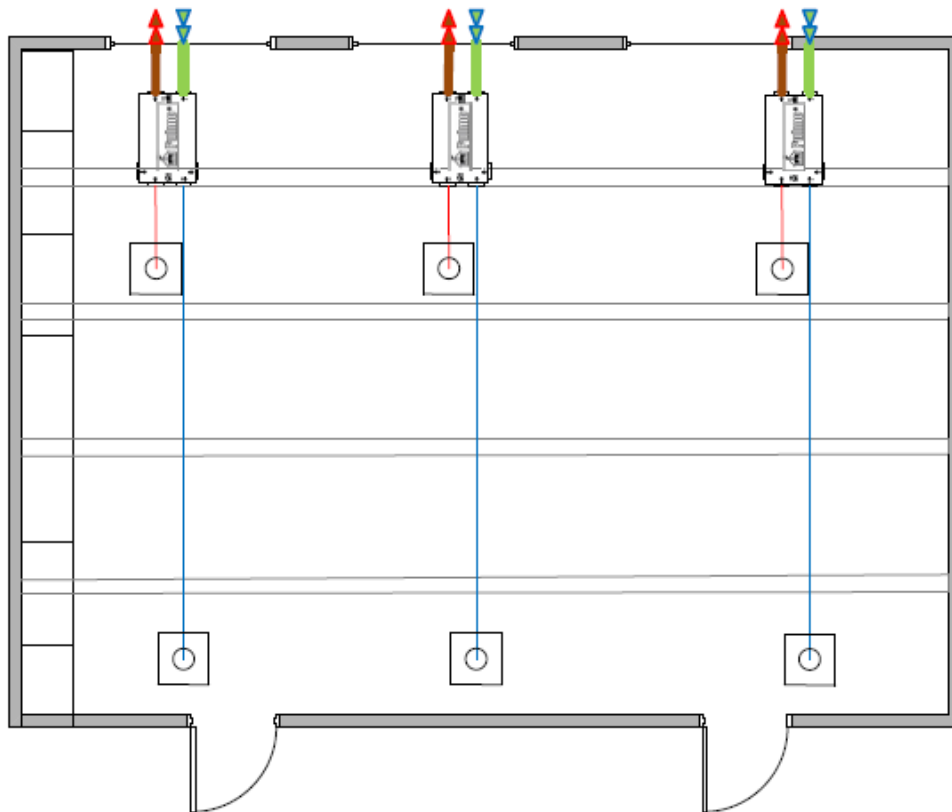
- In het verlaagd plafond lopen de verwarmingsbuizen voor de radiatoren van de bovenliggende ruimte. Hierdoor is het niet mogelijk om het toestel in het verlaagd plafond te plaatsen.



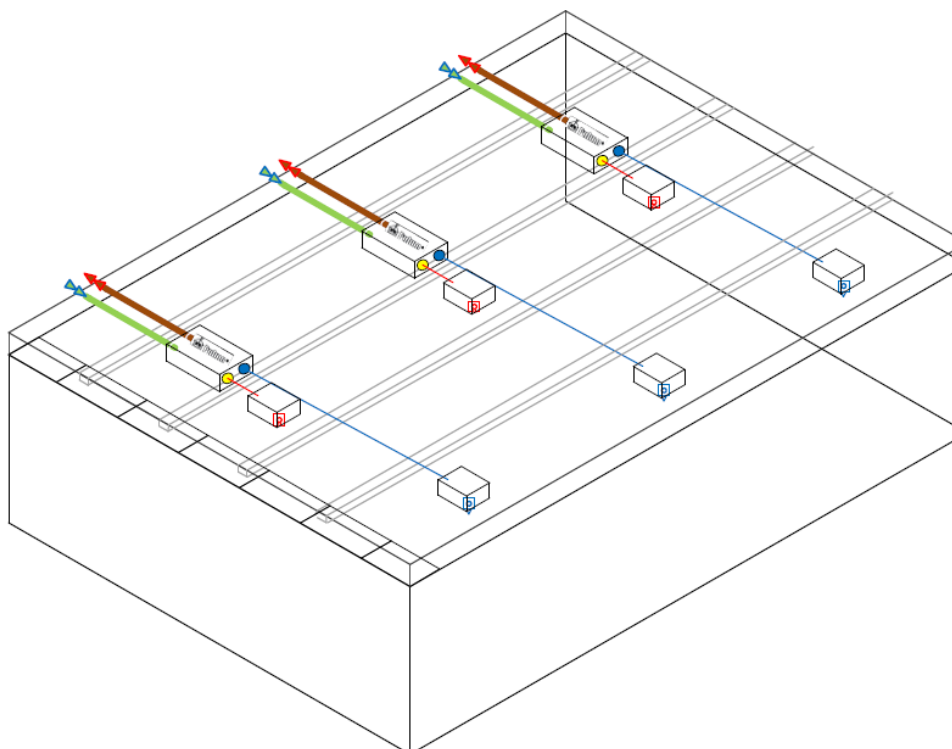
Figuur 29: Foto van verwarmingsbuis in vals plafond

Als we rekening houden met de twee bovenstaande problemen dan moeten we de ventilatie unit meer opschuiven naar het midden van de ruimte zodat we plaats genoeg hebben om het toestel te plaatsen. Maar dan komen we in de problemen met de afstand tussen de toe- en afvoer ventielen. Deze staan te dicht bij elkaar waardoor men kortsluiting kan krijgen.

Dit systeem wordt dus veel te moeilijk om te plaatsen door de problemen die er zich voordoen rond het aspect 'ruimte'. We hebben wel een prijsraming en tekening gemaakt van hoe het systeem er zou uitzien.



Figuur 30: bovenaanzicht F108



Figuur 31: Isometrisch perspectief F108

## Prijstraming ventilatie met de Aeropulmo

Als we de prijs bekijken van de Aeropulmo stellen we vast dat we in de prijsklasse komen boven de 10.000,00 euro. In onderstaande tabel de prijs van een beperkt aantal onderdelen. De prijs van alle onderdelen, van montage, muurboringen, enz. is niet in rekening gebracht omdat de uitvoering van dit systeem onbestaande is.

Omschrijving	Eenheid	Aantal	Brutoprijs per stuk	Brutoprijs
Pulmo® Project 400 links + reg + filters	stuks	3	€ 2.090,00	€ 6.270,00
AspiroMural Buitenrooster Combi (Max 350 m³/h)	stuks	3	€ 220,00	€ 660,00
Plafondrooster (Plain diffuser)	stuks	6	€ 102,79	€ 616,74
Plenumbox	stuks	6	€ 142,07	€ 852,42
Ronde kanalen	per m	18	€ 12,12	€ 218,16
Geïsoleerde buis	per 2,25m	5	€ 79,05	€ 395,25
			<b>Totaal</b>	€ 9.012,57

Tabel 5: Prijstraming Aeropulmo

### 3.4.2.4 Voorstel 4: Airmaster (systeem D)

Als vierde voorstel zijn we bij de Airmaster terecht gekomen. Deze ventilatie unit heeft twee uitvoeringen. Er kan voor een kast- of een plafondmodel gekozen worden. Bij dit systeem wordt er decentraal, dus per leslokaal geventileerd.



Figuur 32: Airmaster kast model



Figuur 33: Airmaster staand model

#### Voordelen:

- De unit maakt gebruik van warmterecuperatie.
- Er wordt gewerkt per leslokaal, dus toevoer en afvoer van lucht wordt volledig gestuurd door deze unit.
- Ook zijn er verschillende sensoren die ervoor zorgen dat er een betere regeling mogelijk is van het binnenklimaat.  
Deze sensoren zijn:
  - Inlaat temperatuur
  - Buiten temperatuur
  - Binnen temperatuur
  - CO<sub>2</sub> (optioneel)
  - Beweging (optioneel)
  - Vochtigheid (optioneel)
- Alle gegevens worden gelogd en kunnen worden opgeslagen
- Er is ook koppeling mogelijk van digitale BMS of “building management system” ( optioneel)
  - KNX
  - BACnet™/IP
  - BACnet™MS/IP
  - LON
  - MODBUS RTU RS485
- All-in-one: alle intelligentie bevindt zich in de unit. Dit betekent dat het volledig afzonderlijk en automatisch kan werken.



## 3.5 De Airmaster

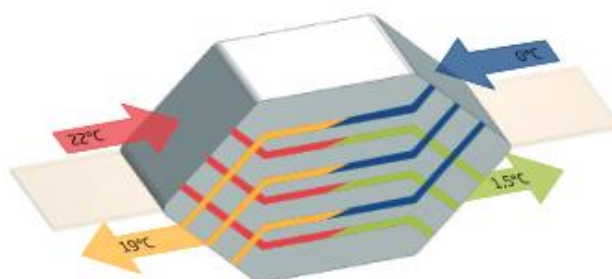
Zoals uitgelegd in het vorig deel lijkt de Airmaster ons een ideale oplossing. Deze paragraaf gaat meer duidelijkheid brengen wat de Airmaster juist is en wat zijn toepassingen zijn. We werken op het laatste van de paragraaf een voorstel uit om 1 lokaal uit te rusten met een Airmaster.

### 3.5.1 Opbouw van het toestel

Het toestel is opgebouwd uit geluidsisolerend materiaal, om er voor te zorgen dat het toestel geruisloos kan werken. Op deze manier worden de storende geluiden van de ventilatie unit gedempt. Om de unit energie vriendelijker te maken werd het toestel uitgerust met een warmte wisselaar.

### 3.5.2 Warmte terugwinning

De Airmaster is uitgerust met een tegenstroom warmtewisselaar. De warmte wisselaar zorgt ervoor dat de koude buitenlucht kan worden opgewarmd met de warme vervuilde binnenlucht.



Figuur 34: Voorstelling warmtewisselaar [15]

De fabrikant heeft de warmtewisselaar laten testen volgens de norm DS/EN308<sup>1</sup> om te voldoen aan de opgestelde eisen door Europa. Uit hun test blijkt dat: bij droge lucht er tot 85% warmte wordt uitgewisseld tussen de vuile luchtstroom en de aanzuiging van verse lucht. Wanneer men het condensaat meerekent, verhoogt het rendement tot 95%.

In bovenstaande afbeelding zien we de warmtewisselaar. De afgezogen vuile lucht heeft een temperatuur van 22°C. De aangezogen zuiver lucht heeft een temperatuur van 0°C. De warmtewisselaar zorgt dat de zuivere lucht opwarmt tot 19°C zonder bij te verwarmen. [15]

De rendementen die door de fabrikant worden opgegeven zijn volgens een vakspecialist niet realistisch aangezien men niet volgens de Belgische norm test.

1

#### Test condities

Inlaat temperatuur 5°C

binnenlucht temperatuur 25°C

Luchtstroom test gebied 50-150% van de nominale luchtstroom

Bij gebruik van een warmtewisselaar gaat de koude buitenlucht dus worden opgewarmd door de warme binnenlucht. Hierdoor zal er condensatie kunnen optreden wanneer de temperatuur van de binnenlucht het dauwpunt bereikt. De Airmaster is daarom uitgerust met een condens bak. Wanneer er een teveel aan condens optreedt zal de condens bak te snel zijn maximum capaciteit bereiken en zal deze te vaak moeten geleidigd worden. Daarom zou het een betere oplossing zijn om een afvoerleiding te voorzien, hierdoor moet er geen condens bak worden geleidigd en zal er een lagere onderhoudskost zijn.

### 3.5.3 Energieverbruik

De motor maakt gebruik van efficiënte EC motor technologie. Dit wil zeggen dat de motor een zeer laag energie verbruik heeft, de technologie is ook onderhoudsvriendelijk en geruisloos. Door de geïntegreerde, intelligente sturing is een traploze of constante regeling mogelijk. De EC-producten voldoen hierdoor aan de hoogste eisen op het gebied van energierendement, economie en luchtkwaliteit.

### 3.5.4 Geluidsproductie

De geluidsproductie bij de Airmaster ligt ongeveer rond de 35dB bij vollast van het toestel. Deze lage waarde is vooral te danken aan de goede geluiddichte omkasting. We kunnen dus zeggen dat er geluidsproductie is in de ruimte, maar deze zal niet storend zijn voor de personen die zicht binnen deze ruimte zullen bevinden. Ook kunnen we vaststellen dat een storende factor zeer objectief is. In onderstaande tabel (tabel 4) ziet u een overzicht van het effect van de geluidssterkte in enkele bepaalde situaties. In bijlage 3 vind u de volledige tabel.

#### Matig

Normaal gesprek	60 dB
Regen	50 dB
Rustige kamer, kantoor	40 dB

#### Stil

Gefluister, tikkend uurwerk	30 dB
Leeszaal in een bibliotheek	20 dB
Vallend blad	10 dB

Tabel 6: dB niveaus [16]

### 3.5.5 Dataloggen

Het systeem is zo ingesteld dat er elke 5 minuten meetgegevens worden opgeslagen. Het geheugen is groot genoeg om meetgegevens van één jaar op te slaan. Deze meetgegevens bevatten CO<sub>2</sub>-waarde, binnentemperatuur, buitentemperatuur, enz. Deze gegevens kunnen geëxporteerd worden naar een extern apparaat.

### 3.5.6 Sturing

Het ventilatie debiet kan gestuurd worden op verschillende manieren. Men kan kiezen tussen tijd klok, CO<sub>2</sub>-sturing, bedieningspaneel of een combinatie van deze. Wij opteren voor een CO<sub>2</sub>-gestuurde meting in combinatie met een tijd klok.

Wanneer we dit gaan toepassen wordt de tijd klok ingesteld tussen een bepaalde tijd ( vb. tussen 8u en 17u). De unit gaat binnen deze tijd een minimum gaan ventileren. Indien de CO<sub>2</sub>-waarde gaat stijgen boven een waarde van 1000 ppm gaat de unit traploos geregeld worden om voldoende verse lucht naar binnen te brengen, onafhankelijk van een wisselende bezetting. Op deze manier ventileert men nooit te veel en wordt er geen energie verspild ( conform met de norm EN15232).

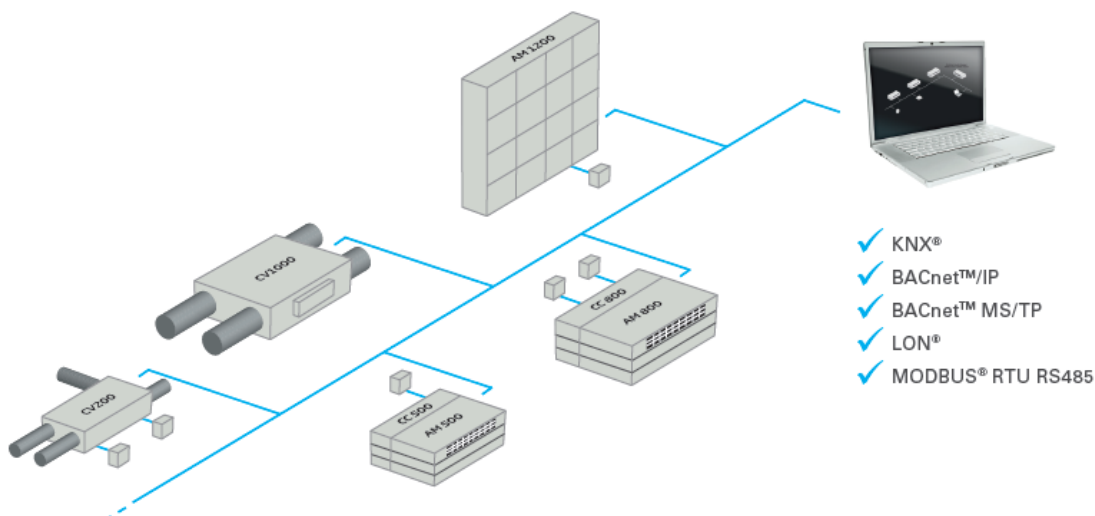
### 3.5.7 Monitoring

De monitoring bij de Airmaster gaat ervoor zorgen dat de unit correct blijft werken. Indien er zich problemen voordoen, gaat het systeem dit melden via een alarm. Het alarmsysteem is zo uitgewerkt dat de techniker precies weet waar het probleem zich voordoet zodat de unit snel hersteld kan worden.

### 3.5.8 Netwerk control

De Airmaster units kunnen communiceren op BACnet<sup>TM</sup>MS/TP, BACnet<sup>TM</sup>/IP, PCB to KNX<sup>®</sup>, LON<sup>®</sup> en MODBUS<sup>®</sup>. Dit geeft het voordeel dat we de gedecentraliseerde systemen in kaart kunnen brengen als een conventioneel centraal systeem.

De Airmaster kan gemakkelijk gestuurd worden met een PC en geïntegreerd worden met andere gebouwbeheersystemen. De units kunnen volledig automatisch werken en alle data kunnen worden gemonitord via het BMS netwerk.



Figuur 35: Digitale BMS [15]

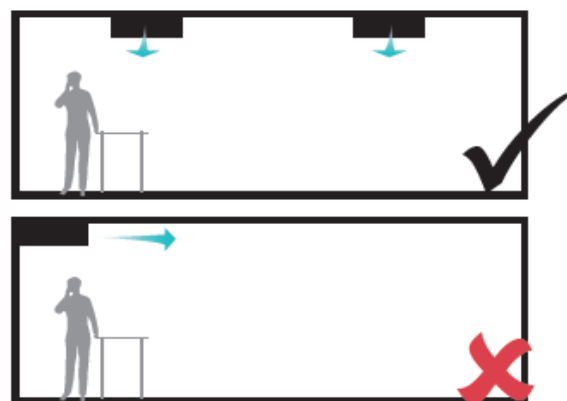
### 3.5.9 Onderhoud

Het onderhoud van de Airmaster is vrij simpel: de unit geeft zelf weer als je de filters moet vervangen. Indien de filters niet tijdig worden vervangen, zal de unit stoppen met werken uit veiligheid en om ervoor te zorgen dat er niet wordt geventileerd met te vervuilde filters. Ook de condensaten worden opgevangen in een condensatie bak. Het teveel aan condensaat wordt automatisch meegevoerd met de uitgaande lucht. Indien dit niet genoeg is zal er een alarm weergegeven worden zodat de condensaat bak leeggemaakt kan worden.

### 3.5.10 Correcte plaatsing

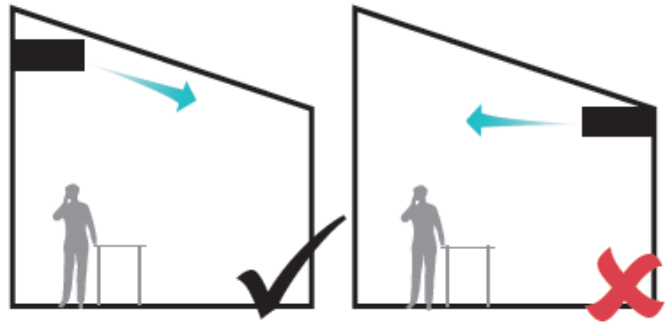
Wanneer we de Airmaster optimaal willen gebruiken moeten we rekening houden met de correcte plaatsing 's voorwaarde van de Airmaster.

- Twee kleine units waarvan de worp afstand niet voldoende is, moeten bevestigd worden aan het plafond zodat ze voldoende kunnen ventileren.



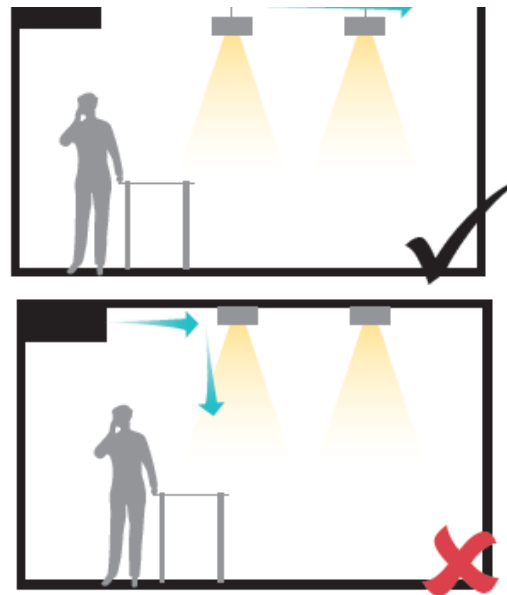
Figuur 36: Uitleg bij de plaatsing van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

- Indien er in de ruimte een hellend plafond is moet de unit zo hoog mogelijk geplaatst worden.



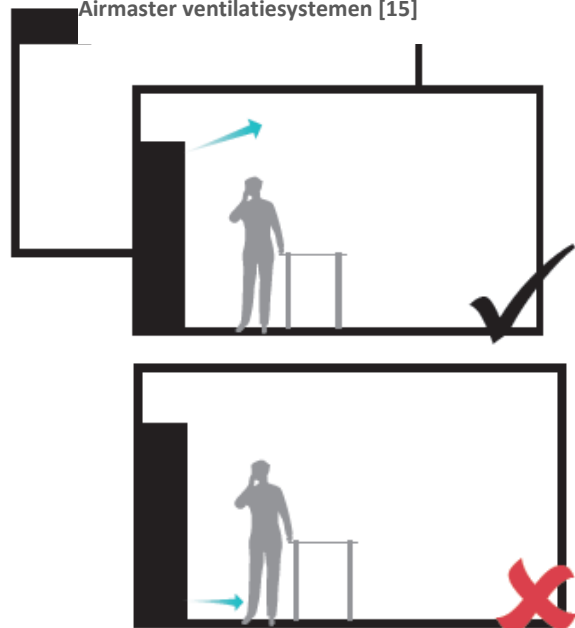
Figuur 37: Uitleg bij de plaatsing van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

- Om de meest efficiënte luchtstroomcondities te bekomen, moeten objecten zoals lampfittings zo optimaal mogelijk geplaatst worden.



Figuur 38: Uitleg bij de plaatsing van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

- Wanneer er zich mensen kort bij de unit bevinden, moet de inblaas van verse lucht ook aangepast worden zodat er geen hinder kan worden ervaren.



Figuur 39: Uitleg bij de plaatsing van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

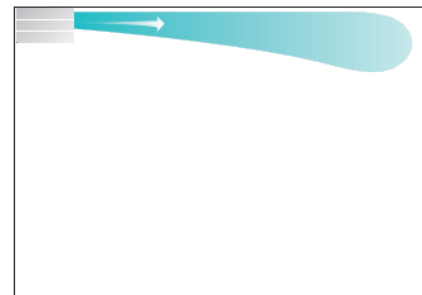
- Betonnen plafondconstructies kunnen een probleem vormen. Hier moet men nagaan of het mogelijk is om een plafondunit te gebruiken. Indien dit niet mogelijk is, kan men altijd kiezen voor een vloermodel.



Figuur 40: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

### 3.5.11 Luchtstroming

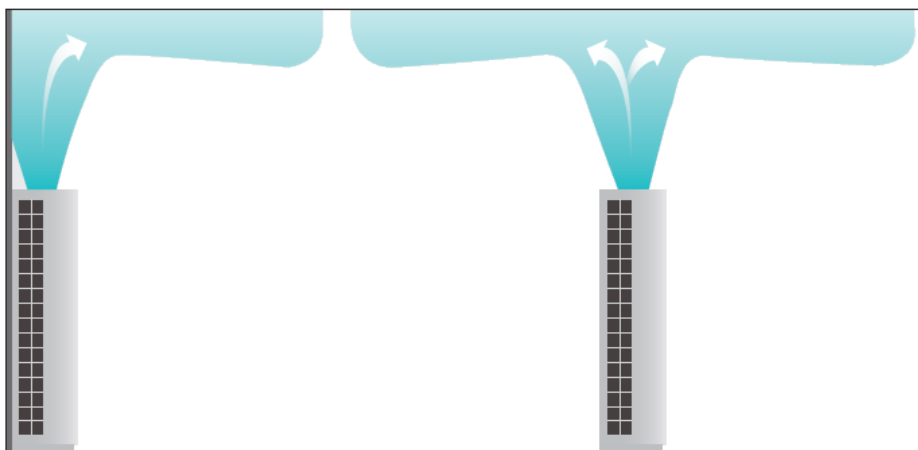
De luchtstroom die door de Airmaster wordt geproduceerd om verse lucht te verdelen in een ruimte steunt op 2 principes. Het eerste principe wordt toegepast bij de unit die bevestigd wordt aan de muur of plafond. Deze unit gaat de lucht inblazen aan het plafond en door het coanda effect zal de lucht bij wijze van spreken aan het plafond blijven kleven. Hierdoor gaan we een veel grotere worp krijgen.



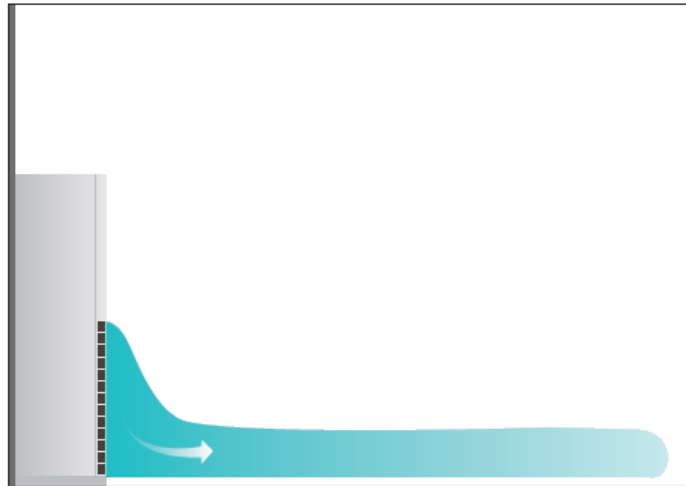
Figuur 41: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

Het 2<sup>de</sup> principe wordt toegepast bij de staande modellen.

Hier kan men op verschillende manieren de lucht naar binnen blazen. Als eerste kan de lucht langs boven worden ingeblazen. Hier wordt gebruik gemaakt van het verdringingsprincipe maar ook van het coanda effect. Indien het niet mogelijk is om aan de bovenzijde de verse lucht toe te voeren, kan men ook kiezen voor de toevoer langs de onderzijde van het toestel.



Figuur 42: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15]



Figuur 43: Uitleg bij de plaasting van de Airmaster ventilatiesystemen [15]

### 3.6 Voorstel om lokaal F108 aan te passen

We hebben gekozen om één lokaal theoretisch uit te werken. We kiezen om één lokaal als voorbeeld te nemen omwille van de gedecentraliseerde ventilatie unit. Dit betekent dat er geen kanalen nodig zijn en er kan gewerkt worden in fasen. Dit betekent dus dat niet alle lokalen in één keer moeten aangepast worden.

#### 3.6.1 Type toestel

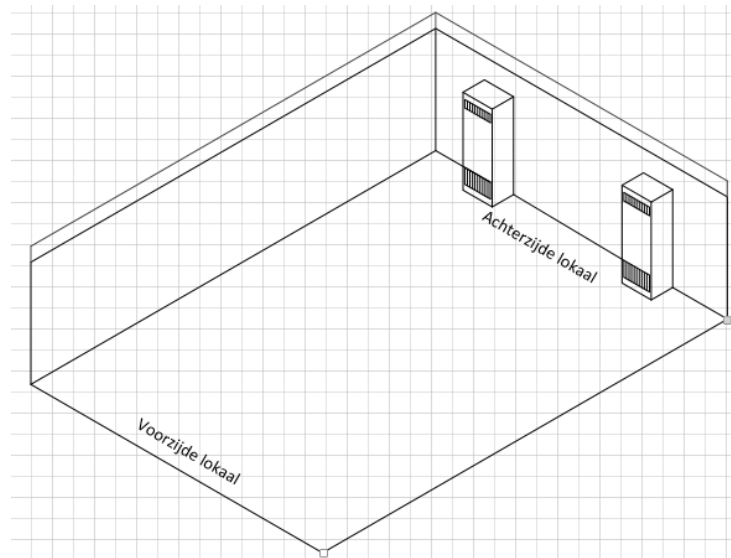
Om een keuze te maken welk toestel het beste geschikt is voor Lokaal F108 hebben we volgende gegevens nodig:

- Breedte: 8 m
- Lengte: 11,10 m
- Hoogte: 2,9 m
- Aantal zitplaatsen: 70
- Oppervlakte: 88,8 m<sup>2</sup>
- Minimale bezetting: 23 personen
- Minimale lucht verversing: 506 m<sup>3</sup>/h
- Maximale lucht verversing: 1540 m<sup>3</sup>/h

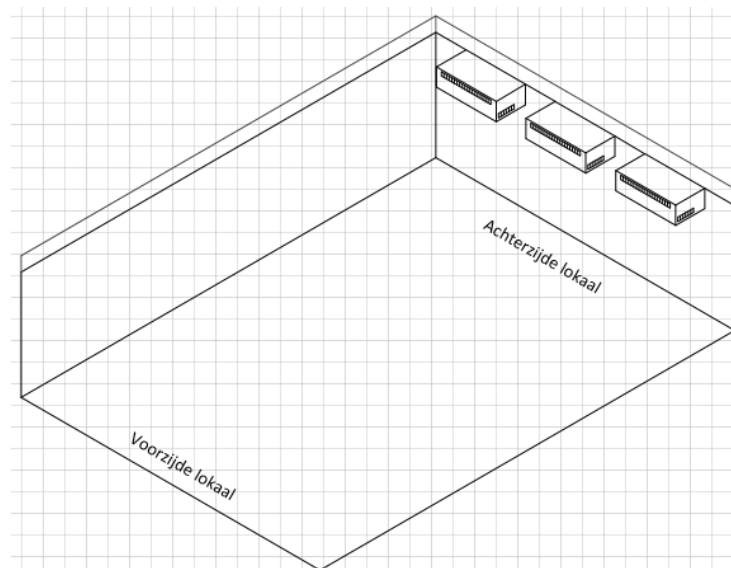
Zoals we kunnen zien hebben we een luchtverversing nodig van 1562 m<sup>3</sup>/h. Dit hebben we als volgt berekend: het aantal personen vermenigvuldigen met 22 m<sup>3</sup>/h (het minimum debiet dat nodig is per persoon (IDA3)).

Wanneer we het debiet hebben berekend, is er een keuze uit twee types van toestellen: een kastmodel en een model dat kan worden bevestigd aan de muur of aan het plafond. De keuze is afhankelijk van het prijsverschil tussen beide modellen en wat het meest conform zal zijn met het lokaal.

Om een idee te krijgen hoe de units er zouden uitzien in het lokaal hebben we een voorstellen gemaakt van beide modellen.



Figuur 44: Voorstelling kastmodel



Figuur 45: Voorstelling plafondmodel

### 3.6.1.1 kastmodel

Bij het stand model kiezen we voor de AMP 900. Deze unit levert een maximum capaciteit van  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dit is echter niet genoeg om het volledige lokaal te voorzien van verse lucht, daarom dienen we 2 toestellen te plaatsen om aan het ventilatiedebiet te kunnen voldoen. Het debiet van de twee toestellen samen is  $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ . De volledige technische data kan u vinden in Bijlage 1



### 3.6.1.2 Plafond model

Bij het plafond model kiezen we dan voor de AML 500. Deze unit levert een maximum capaciteit van 550 m<sup>3</sup>/h. Dit is echter niet genoeg om het volledige lokaal te voorzien van verse lucht, dus zullen we drie toestellen moeten plaatsen om aan het ventilatiedebiet te kunnen voldoen. Het debiet dat de drie toestellen samen kunnen leveren is maximum 1650 m<sup>3</sup>/h.

Drie toestellen in één lokaal lijkt veel. Maar dit is effectief nodig om het debiet te kunnen halen. Indien we kiezen voor het toestel groter de AML 800 dan zullen we ook van deze nog altijd twee toestellen moeten gebruiken. Eén toestel kan nu een maximum debiet leveren van 725 m<sup>3</sup>/h dit wil dus zeggen dat de twee toestellen samen ongeveer 100 m<sup>3</sup>/h te weinig leveren. Maar is dit een probleem als je ziet dat het toestel toch nog altijd 1450 m<sup>3</sup>/h verse lucht kan leveren? Er is ook niet altijd een volledige bezetting. Dit is besproken met de campusverantwoordelijke aangezien dit voor ons logischer leek om de installatie te onderdimensioneren. Uiteindelijk werd ons aangeraden om dit niet te doen aangezien het mogelijk is dat er in de toekomst het aantal studenten in 1 klas verhoogd. De volledige technische data kan u vinden in bijlage 2.

### 3.6.2 Prijsraming

Bij een integratie van een ventilatiesysteem in de F-blok kunnen we zeggen dat er 12 lokalen aangepast moeten worden. Hieronder staat uitgelegd om welke unit het gaat en wat het ongeveer zou kosten om een lokaal te voorzien van een ventilatiesysteem. Als we het totaal pakket gaan bekijken nemen we “18 000 euro per lokaal maal het aantal lokalen” dan komen we uit op een “totaal bedrag van 216 000 euro”. Deze bedragen zijn wel een schatting omdat niet alle prijzen bekend zijn.

#### 3.6.2.1 kastmodel AMP 900

- prijs van 2 units met muuraansluiting met programmeerbare wekklok, free-nightcooling en CO<sub>2</sub> detectie (inclusief gevelroosters en bediening): € 15.600,00
- 4 muurdoorboringen van diameter 315 en diepte 48cm: €1.100,00

#### 3.6.2.2 Plafondmodel AML 500

- Prijs van 3 units met muuraansluiting met programmeerbare wekklok, free-nightcooling en CO<sub>2</sub> detectie (inclusief gevelroosters en bediening): €15.500,00
- 6 muurdoorboringen van diameter 250 en diepte 48cm: €910,00

### 3.6.2.3 Accessoires

- Geïntegreerde CO<sub>2</sub> sonde: € 235,00
- BACNET module: € 485,00
- Netwerk regeling ( Airlinq orbit): €330,00 ( 1 nodig per 20 ventilatiegroepen)
- Standalone regeling (Airlinq Viva): €185,00 (1 nodig per unit – of indien er meerdere units in 1 lokaal aanwezig zijn, kunnen deze ook op 1 Airlinq Viva paneel aangesloten worden).

Deze prijzen zijn richtprijzen eindklant – excl. BTW en montage. (Wat montage betreft, dient u 3 à 4 uur per unit met een ploeg van 2 man te rekenen.)

### 3.7 Besluit

Als algemeen besluit van dit hoofdstuk kunnen we zeggen dat er heel veel technieken op de markt zijn om te ventileren. Maar wanneer je moet werken in een bestaand gebouw is het niet altijd vanzelfsprekend om een ventilatiesysteem te integreren. Bij een bestaand gebouw is er vooral een gebrek aan plaats om een installatie op een goede manier te installeren. Daarom hebben we ervoor gekozen dat de beste oplossing om de lokalen te ventileren een decentraal systeem is. Hierdoor kan gewerkt worden per lokaal en is er geen netwerk van kanalen nodig in het gehele gebouw.

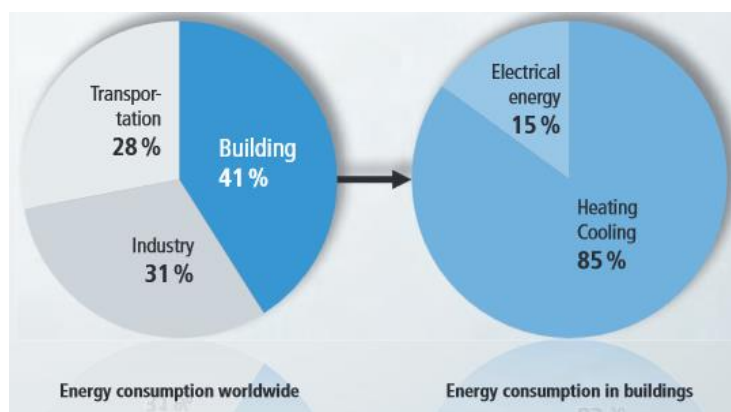
Bij een decentraal systeem kan er in fases gewerkt worden zodat de kosten kunnen verspreid worden. Voor ons krijgt de Airmaster dus de voorkeur omwille van zijn vele voordelen die uitgewerkt zijn in dit hoofdstuk.

Het integreren van een ventilatie systeem heeft vele voordelen: een betere luchtkwaliteit, een mogelijkheid tot regelen van de lucht toevoer, enz. Een negatief punt is de hoge investeringskost. Maar aangezien we hiermee het comfortniveau verbeteren is deze investeringskost zeker de moeite waard. De personen gaan zich beter voelen en personen die zich goed in hun vel voelen presteren beter.

## 4 Studie verbetering door toepassing norm EN15232

### 4.1 Inleiding

Volgens het ASUE vereniging wordt er globaal 41% van de totale energie geconsumeerd door gebouwen. Van deze 41% wordt er 85% verbruikt voor het verwarmen en koelen van het gebouw, en 15% voor de elektriciteitsbehoeften.



Figuur 46: Energie consumptie [17]

Wanneer deze energiebehoeften verminderd worden, verbeteren we belangrijke aspecten van het gebouw. We pakken enerzijds het economische en anderzijds het ecologische probleem aan. Het economische probleem is dat de energieprijzen de afgelopen tijd steeds stijgen door een tekort aan energie. Het ecologische probleem is dat we ons er steeds meer bewust van worden wat de impact is van het gedrag van de mens op de aarde en het klimaat.

Door te investeren in een slim automatiseringssysteem kunnen we de totale energiebehoeften van een gebouw verminderen. Wij gaan onderzoeken of er door automatisering van de leslokalen energie bespaard kan worden.

In de automatiseringswereld zijn er verschillende grote fabrikanten die zich inzetten om BMS of Building automation services te implementeren in gebouwen. Enkele voorbeelden: Siemens, Trend, Tridium, Schneider Electric, GE (HabiTEQ), Beckhoff,... Wij hebben gekozen om dit systeem uit te werken met de producten van Beckhoff. Deze beslissing hebben we genomen omdat de PXL hogeschool nauwe banden heeft met Beckhoff. Ook was dit voor ons interessant omdat er documentatie beschikbaar is van Beckhoff op vlak van automatisatie binnen gebouwen.

In de norm EN15232 wordt er een manier uitgelegd om te berekenen wat de besparingsmogelijkheden zijn van verschillende automatiseringssystemen. Er zijn 3 stappen die we moeten volgen.

1. Bepalen in welke energieklasser het PXL gebouw zich bevindt.
2. Bepalen welke aanpassingen mogelijk zijn in het gebouw.
3. Bepalen welke besparing er mogelijk is in het gebouw.

## 4.2 Bepaling van de energieklasser van het PXL gebouw.

In de EN15232 norm zijn er tabellen in opgenomen waarmee men de energieklasser van een gebouw kan bepalen. We kunnen ook de samenvatting van Siemens gebruiken.

	Heating / Cooling control	Ventilation / Air conditioning control	Lighting	Sun protection
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individual room control with communication between controllers</li> <li>- Indoor temperature control of distribution network water temperature</li> <li>- Total interlock between heating and cooling control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demand or presence dependent air flow control at room level</li> <li>- Variable set point with load dependant compensation of supply temperature control</li> <li>- Room or exhaust or supply air humidity control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatic daylight control</li> <li>- Automatic occupancy detection manual on / auto off</li> <li>- Automatic occupancy detection manual on / dimmed</li> <li>- Automatic occupancy detection auto on / auto off</li> <li>- Automatic occupancy detection auto on / dimmed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combined light/blind/ HVAC control</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individual room control with communication between controllers</li> <li>- Indoor temperature control of distribution network water temperature</li> <li>- Partial interlock between heating and cooling control (dependent on HVAC system)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Time dependent air flow control at room level</li> <li>- Variable set point with outdoor temperature compensation of supply temperature control</li> <li>- Room or exhaust or supply air humidity control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual daylight control</li> <li>- Automatic occupancy detection manual on / auto off</li> <li>- Automatic occupancy detection manual on / dimmed</li> <li>- Automatic occupancy detection auto on / auto off</li> <li>- Automatic occupancy detection auto on / dimmed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorized operation with automatic blind control</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individual room automatic control by thermostatic valves or electronic controller</li> <li>- Outside temperature compensated control of distribution network water temperature</li> <li>- Partial interlock between heating and cooling control (dependent on HVAC system)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Time dependent air flow control at room level</li> <li>- Constant set point of supply temperature control</li> <li>- Supply air humidity limitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual daylight control</li> <li>- Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal</li> <li>- Manual on/off switch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorized operation with manual blind control</li> </ul>
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No automatic control</li> <li>- No control of distribution network water temperature</li> <li>- No interlock between heating and cooling control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No air flow control at room level</li> <li>- No supply temperature control</li> <li>- No air humidity control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual daylight control</li> <li>- Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal</li> <li>- Manual on/off switch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual operation for blinds</li> </ul>

Figuur 47: Tabel EN15232 klassen [18]

Het PXL gebouw bevindt zich in het PXL gebouw in klasse "D". Hieruit besluiten we dat er veel aanpassingsmogelijkheden zijn.

## 4.3 Aanpassingsmogelijkheden

De norm EN15232 bespreekt 4 mogelijke automatiseringsgebieden. Deze houden verwarming, ventilatie, verlichting en zonnewering in.

Wij gaan ons concentreren op de eerste 3 gebieden. De reden dat we ons niet concentreren op zonnewering is omdat dit een te grote aanpassing zou zijn op het gebouw, en de voordelen hiervan te laag zijn.

Tijdens de herfst en wintermaanden is er binnentreding van zonne-energie. In deze periode willen we zo veel mogelijk "gratis" zonnewarmte opvangen en gaat het zonneweringssysteem gedeactiveerd/open zijn.

Tijdens de lente en de zomermaanden is er wel een hinderlijk binnentreding van zonne-energie. Dit kan voor oververhitting zorgen tijdens de maanden april, mei en juni. De maanden juli, augustus en begin september is de bezetting van het gebouw nihil. De oververhitting kunnen we verhinderen door te ventileren en eventueel toepassen van "free cooling".

Op dit moment is er manuele zonnewering geïnstalleerd. Deze heeft tot functie om tijdens een presentatie het beamerbord leesbaar te maken.

## 4.4 Automatisering leslokalen.

De norm EN15232 beschrijft duidelijk dat wanneer we een energieprestatie index “A” willen hebben, we moeten inzetten op “room automation” of “kamer automatisatie”. Beckhoff raad aan om ook de Duitse norm VDI 3813 te raadplegen wanneer men dergelijke kamerautomatisering installeert.

Er zijn 2 wegen die we kunnen inslaan wanneer we willen automatiseren. De eerste mogelijkheid is om met bestaande automatiseringsproducten te werken die elk hun taak apart vervullen. De tweede mogelijkheid is om zelf een automatiseringssysteem samen te stellen. We sommen de voor en nadelen op.

### 4.4.1 Voor- en nadelen verschillende types automatiseringssystemen

#### 4.4.1.1 Individuele automatiseringssystemen:

Voordelen:

1. Plug and play systemen
2. Lagere kostprijs
3. Lagere installatiekost

Nadelen:

1. Beperkte mogelijkheden
  - a. Geen monitoring
  - b. Geen samenwerking tussen verschillende systemen
  - c. Geen gegevens collectie

#### 4.4.1.2 Samenhangende automatiseringssystemen:

Voordelen:

1. Breder inzet tussen verschillende systemen
2. Monitoring, gegevenscollectie,... mogelijk
3. Grote flexibiliteit bij keuze tussen verschillende merken/protocollen.
4. Mogelijkheden tot creëren van een hiërarchisch systeem (gebouwbeheerder kan het systeem te allen tijde modifieren).
5. Combinatie van verschillende automatisatie technieken, interessant voor een onderwijsinstelling.

Nadelen:

1. Hogere kostprijs
2. Hogere installatieprijs
3. Meer programmeer en inregelwerk

## **4.5 Mogelijkheden met room automatization**

Met de room automatisatie kunnen we verschillende systemen sturen en beheren. We doen een korte opsomming van de verschillende technieken.

### **4.5.1 Automatisering op HVAC vlak**

1. Luchtkwaliteit monitoring (CO<sub>2</sub>)
2. Ventilatie sturing
3. Verwarming sturing
4. Koeling sturing
5. Temperatuur monitoring
6. Vochtigheid monitoring

### **4.5.2 Automatisering op verlichting/elektrisch vlak**

1. Verlichtingssturing (Dali)
2. Stuurbare stopcontacten

### **4.5.3 Werking en monitoring**

1. Visualisatie/interactie mogelijkheden op een monitor
2. Instelbare scènes: presentatie (voorste lichten dimmen), labo (extra verlichting,...)

## 4.6 Bepalen welke besparing er mogelijk is in het gebouw.

In de norm EN15 232 is er een methode beschreven hoe men de efficiëntie factor van een gebouw kan bereken. Globaal wordt er met 5 waarde gewerkt bij niet residentiele gebouwen.

$f_{BACS,H}$  = efficiency factor building automatisisation control system heating

$f_{BACS,C}$  = efficiency factor building automatisisation control system cooling

$f_{BACS,DHW}$  = efficiency factor building automatisisation control system domestic hot water

$f_{BACS,el-li}$  = efficiency factor building automatisisation control system electrical lighting

$f_{BACS,el-au}$  = efficiency factor building automatisisation control system electrical auxiliary

In dit onderzoek wordt er enkel rekening gehouden met  $f_{BACS,H}$  en  $f_{BACS,el-li}$ .

Het gebouw heeft een energie index "D". Dit betekent een efficiëntie factor van:

- Thermisch vlak: 1,2
- Elektrisch vlak: 1,1

Het gebouw kan verbeterd worden tot een energie index "A". Dit betekent een efficiëntie factor van:

- Thermisch vlak: 0,8
- Elektrisch vlak: 0,76

## 4.7 Besluit

Op thermisch vlak valt er 40% energie te besparen. Op elektrisch vlak valt er 34% te besparen. Dit is redelijk veel en zorgt voor een bruikbare investeringsruimte.



## 5 Automatisering verwarming

### 5.1 Inleiding

Het huidige warmte-afgiftesysteem op de PXL hogeschool is gebaseerd op zones. In elke vleugel zijn er op bepaalde plaatsen kamerthermostaten geïnstalleerd. Deze kamerthermostaten meten de temperatuur in het leslokaal om zo de warmtevraag in elke zone te beheren. Dit systeem werkt niet naar behoren.

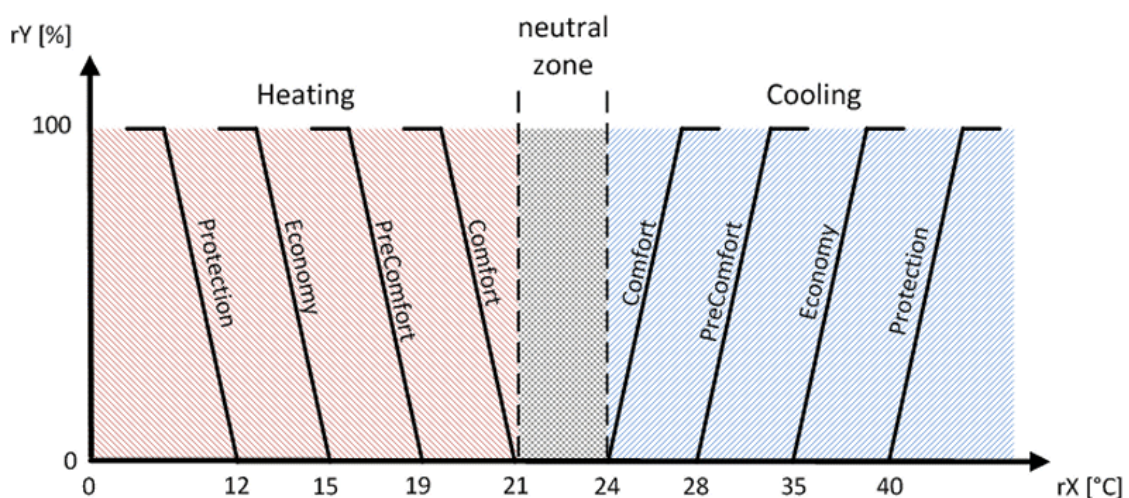
In de lokalen met een thermostaat zijn de thermostaatkranen op een lage temperatuur ingesteld. In de resterende lokalen zijn deze op een hoge temperatuur ingesteld. Door te verwarmen gaat de temperatuur in de lokalen stijgen. De temperatuur in het lokaal met de thermostaat moet zo laag mogelijk gehouden worden. Als de temperatuur in dit lokaal te hoog is zou namelijk de ganse zone afschakelen. Zonder rekening te houden met de andere lokalen.

Andersom werkt dit systeem ook niet. Stel dat in een lokaal zonder kamerthermostaat vaak les gegeven wordt. De temperatuur gaat dan natuurlijk stijgen met het aantal studenten en de lesuren. Na verloop van tijd is de temperatuur in dit lokaal zo hoog dat men de ramen opent terwijl de verwarming nog steeds geactiveerd is.

### 5.2 Automatiseringsmogelijkheden

Om dit probleem op te lossen kan er geopteerd worden om de EN15232 norm te volgen. Deze beschrijft dat er een systeem geïnstalleerd wordt waarmee men de mogelijkheid heeft om de temperatuur per ruimte individueel te regelen. Dit zorgt dat men de verwarming per lokaal kan afregelen. Dit betekent concreet:

- Verwarmen tot een pré-comfort niveau voor de les begint (19°-20°)
- Bijverwarming tot een comfort niveau bij aanwezigheid (21°)
- Verwarming afschakelen bij het bereiken van dit comfortniveau
- Verwarming terug aanschakelen bij het bereiken van de ondergrenstemperatuur
- Extra: verwarming afschakelen bij het openen van een raam.



Figuur 48: Stoeklijnen [19]

### 5.3 Self-powered intelligent Thermostatic Radiator Valve (iTRV)

Om deze verwarmingsproblemen op te lossen kunnen we opteren voor elektronisch regelbare thermostaatkranen. Dit type thermostaatkraan kan men gebruiken als vervanging van de traditionele thermostaatkraan.

Op dit moment zijn er slechts enkele van deze elektronisch gestuurde kranen op de markt. Vaak zijn deze kranen gestuurd met een gesloten protocol waardoor men extra randapparatuur (gateway, repeater, licenties, databases,...) moet aankopen.

Sinds februari 2015 is Micropelt op de markt gekomen met een product dat ideaal is voor onze toepassing, de "Self-powered intelligent Thermostatic Radiator Valve" of "iTRV" in het kort. Deze thermostatische radiator kraan is een batterij vrije thermostaatkraan gestuurd op het draadloze EnOcean protocol.

### 5.4 Werkingsprincipe

Een traditionele thermostaatkraan bestaat uit een regelbare knop en een intern mechanisme. Met de regelbare knop stelt men de gewenste temperatuur in van de ruimte. Wanneer de verwarming aanstaat, gaat het mechanisme de stand van de klep op de radiator regelen. Bij een te lage temperatuur t.o.v. de ingestelde temperatuur drukt de thermostaatkraan de klep open. Bij een



Figuur 49: iTRV [20]

hogere temperatuur sluit hij de klep.

Bij de iTRV is dit mechanisme elektronisch regelbaar. De positie van de klep, en dus ook de temperatuur kan men instellen. Dit systeem biedt dus ook de mogelijkheid om de verwarming van een lokaal af te sluiten wanneer er een raam opent.

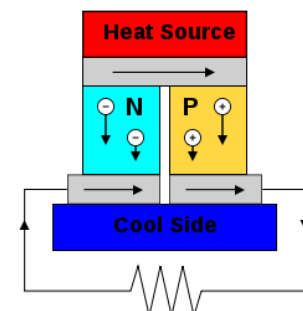
#### 5.4.1 Batterij vrije werking

De iTRV thermostaatkraan werkt zonder batterijen. Dit is mogelijk door gebruik te maken van een thermogenerator. Hier wordt er een kleine hoeveelheid elektrische energie opgewekt. Om te garanderen dat de iTRV ook werkt wanneer er geen thermische energie aanwezig is, is er een oplaadbare batterij ingebouwd.

##### 5.4.1.1 Peltier-Seebeck effect

De thermogenerator werkt op het Peltier-Seebeck effect of het thermo-elektrisch effect. Het Peltier-Seebeck effect is de spanning die optreedt wanneer men 2 verschillende metalen laten aangrenzen en er een temperatuurverschil creëert tussen de 2 metalen.

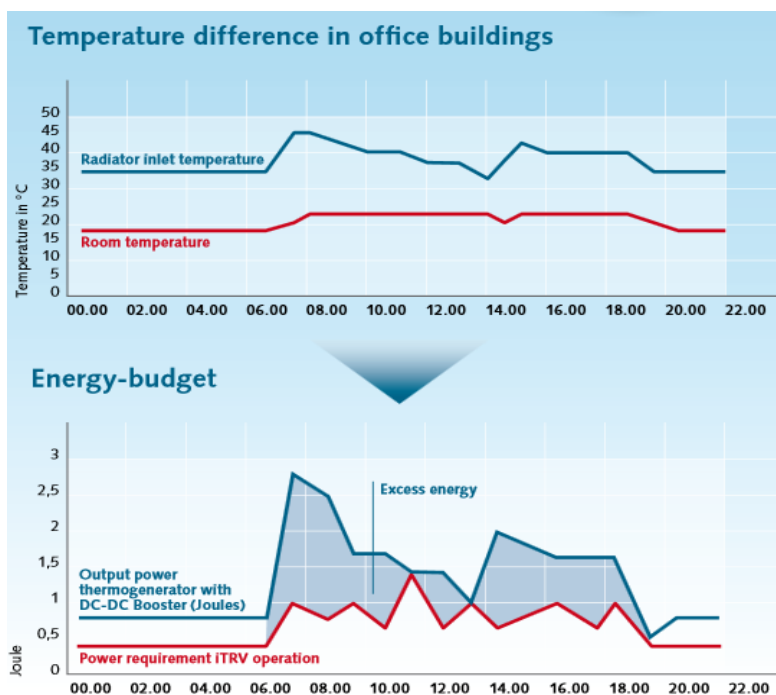
Het belangrijkste om te weten is dat deze methode van energie opwekken een lange levensduur en geen onderhoud nodig heeft.



Figuur 50: Peltier-Seebeck effect [31]

### 5.4.1.2 Levensduur op batterij

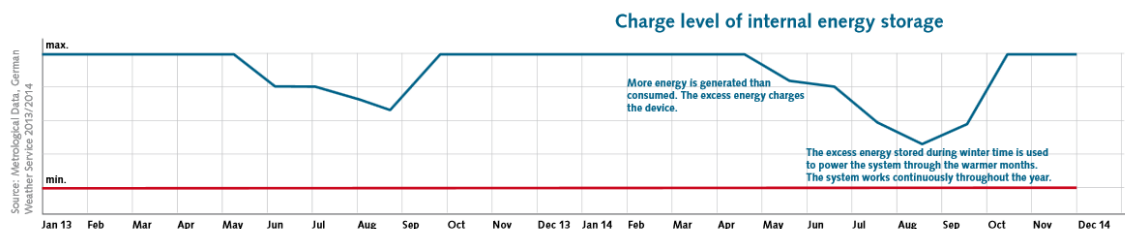
Op bovenstaande foto zien we een meting van de energie opgewekt door de thermogenerator. We kunnen besluiten dat in normale omstandigheden (lage delta T) er genoeg energie gegenereerd wordt om een feilloze werking te garanderen. In ons geval is de ‘Radiator Inlet temperature’ zelfs nog hoger, ongeveer 65°C. Er wordt dus nog meer energie opgewekt. Wanneer we dit op jaarbasis bekijken zien we dat enkel tijdens de zomer de interne batterij meer wordt ontladen als opgeladen.



Figuur 51: iTRV opgewekte t.o.v. verbruikte energie [20]

In onze situatie gaat de grafiek er anders uit zien. Tijdens de herfst-, kerst-, krokus- en paasvakantie wordt er namelijk niet verwarmd. Deze periode gaat de interne batterij ontladen. Hoewel dit een zeldzame situatie is, kan het zijn dat de interne batterij te diep ontladen is. Vanaf dit moment wordt de thermostaatkraan tot 50% geopend (of huidige positie als deze groter is als 50%). De iTRV gaat dan in slaapmodus en wacht tot de interne batterij herladen wordt.

Deze slaapmodus en klep positie zorgt ervoor dat het radiator kraanhuis bij een lange stilstand niet vast komt te zitten. Ook zorgt deze er voor dat eens het warm water terugstroomt de iTRV effectief herlaadt.



Figuur 52: iTRV batterijlading [20]

### 5.4.2 Draadloze werking

De draadloze werking is mogelijk door gebruik te maken van Enocean technologie. Deze technologie werkt op de 868MHz frequentie in Europa. Deze communicatie werkt bi-directioneel bij een snelheid van 125 kbits/s. Ook is het mogelijk om deze communicatie te encrypteren tegen indringers.

### 5.4.3 Draadloos bereik

Het draadloos bereik is afhankelijk van de afstand van de zender tot de ontvanger. Ook spelen de bouwmaterialen een grote rol op het bereik. Hieronder kunt u een tabel vinden die bepaalt welk bereik de iTRV heeft. Dit is belangrijk om te weten: het geeft aan waar men het beste een Enocean transceiver kan plaatsen.

<b>Material</b>	<b>Penetration</b>
Wood, gypsum, uncoated glass	90..100 %
Brick, chipboard	65.. 95 %
Reinforced concrete	10.. 90 %
Metal, aluminum facings	0.. 10 %

For an evaluation of the environment, please see guide values listed below:

<b>Conditions</b>	<b>Range / penetration</b>
Line-of-sight	Typ 30 m range in passages, up to 100 m in halls
Plasterboard and wood walls	Typ 30 m range through max. 5 walls
Brick and foamed concrete walls	Typ 20 m range through max. 3 walls
Reinforced concrete walls & ceilings	Typ 10 m range through max. 1 ceiling

Supply blocks and lift shafts should be treated as shields.

Figuur 53: Draadloos bereik [21]

### 5.4.4 Montage op de radiator

De huidige thermostaatkranen zijn van TA hydronics. Deze thermostaatkranen hebben een schroefdraadverbinding van M28x1,5 terwijl de ITRV een verbinding heeft van M30x1,5. Er moet dus een adapterring voorzien worden.



Figuur 54: Adapterring [32]

### 5.4.5 Kamerthermostaat

De roomcontroller moet de temperatuur weten om nauwkeurig de iTRVs te sturen. Er zijn 2 mogelijkheden om dit te integreren.

### 5.4.6 Kamerthermostaat met emoncms.org

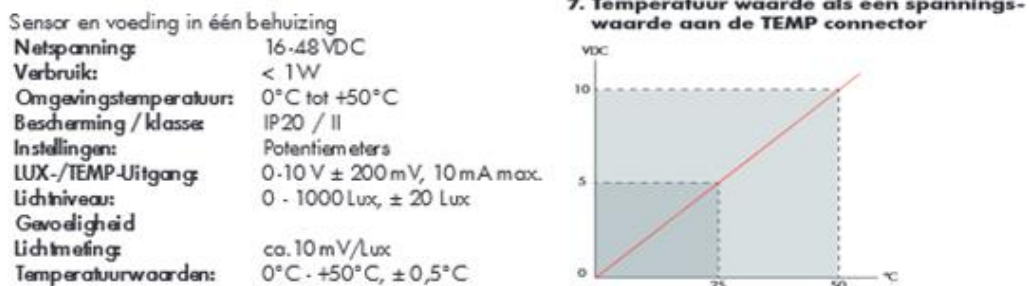
Eerder in de scriptie spreken we over een logger die de lokale temperatuur, vochtigheid en co2 waarde meet en upload naar Emoncms.org. Deze gegevens staan dus online ter beschikking en kunnen uitgelezen worden door een PLC. Afhankelijk van deze waarde kan de PLC de thermostaatkranen sturen.

### 5.4.7 Aanwezigheid sturing

Dit systeem is afhankelijk van detectie van personen in de ruimte. Dit is eventueel te koppelen aan een verlichtingssturing.

### 5.4.8 Aanwezigheid- en temperatuursensor

Het merk "Luxomat" heeft een aanwezigheidsmelder ontwikkeld met een geïntegreerde temperatuurmeting. De melder heeft een output signaal van 0-10V die de temperatuur in het lokaal representeert.



Figuur 55: Luxomat PD2N [22]

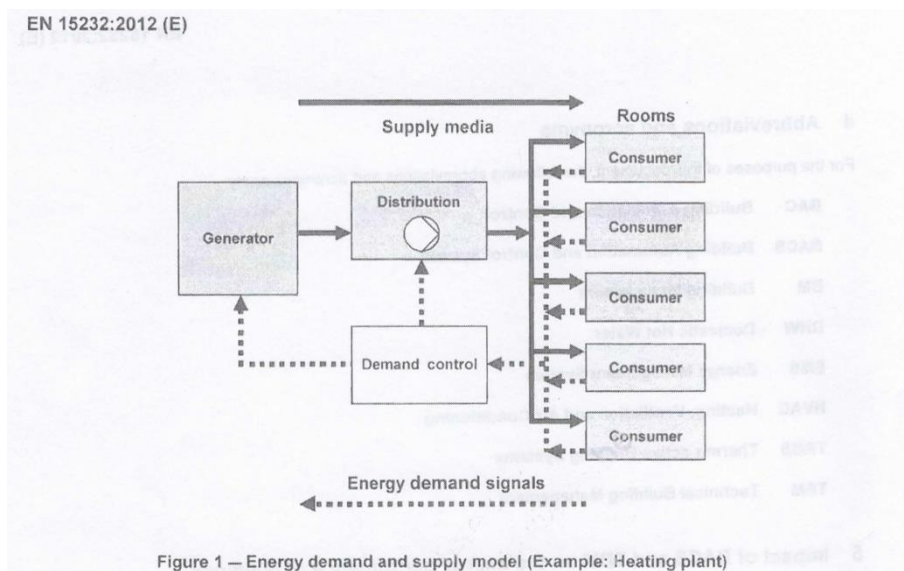
### 5.4.10 Kostprijs

Aantal	Omschrijving	Prijs
1	ITRV	€ 97,00
1	Adapter M28-M30	€ 6,00

Tabel 7: Kostprijs ITRV

### 5.5 Aanpassing bestaande verwarmingssturing

Zoals eerder uitgelegd werkt de huidige verwarmingsinstallatie met thermostaten in bepaalde ruimte. Met het ITRV systeem is er een warmtevraag per lokaal in de plaatst van per zone. In de EN15232 norm is hier extra informatie om het huidige systeem aan te passen.



Figuur 56: Individuele warmte vraag bij room automatisatie [23]

## 5.6 Besparingsmogelijkheid

Volgens de EN15232 norm opgesteld op maart 2012 kunnen we tot 40% besparen op verwarmingskosten door dit type van automatisering. Dit getal hebben we ook geëvalueerd met een vakspecialist Mr. Fritz Volkert, CEO van het bedrijf Micropelt. Micropelt is het bedrijf dat deze iTRV ontwikkelt en verkoopt. Deze persoon heeft ervaring met de besparing die optreedt wanneer men ruimteafhankelijk gaat verwarmen. Hij bevestigde dat 40% een reëel getal is wanneer oververhitting elimineert, gemiddelde kamer temperatuur verlaagt en de verwarming afschakelt in ongebruikte leslokalen.

We hebben getracht om een besparing volgens de EN15232 norm te berekenen. Dit was niet mogelijk aangezien we enkel over het totale gasverbruik beschikken. Dit verbruik is niet enkel voor de verwarming voor het gebouw maar ook voor de bereiding van sanitair warm water.

Op dit moment wordt de installatie van het sanitair warm water aangepast. Er gaat gebruik gemaakt worden van zonne-energie om het water op te warmen. Vanaf dan is het gasverbruik wel enkel voor de verwarming van het gebouw en kan men dit accuraat berekenen.

## 5.7 Besluit

De thermostaatkranen van Micropelt lijken ons een oplossing voor het huidige verwarmingsprobleem. De gemakkelijke installatie van thermostaatkranen en de EnOcean transceiver zorgt ervoor dat men een lage werkkost heeft. Ook zorgt de interne oplaadbare batterij voor een onderhoudsvrij werking.



## 6 Automatisering verlichting

### 6.1 Verlichtingsnormen

Er zijn in de loop van de jaren verschillende normen opgesteld. Deze normen moeten gevolgd worden door ontwerpers om de kwaliteit van hun producten te garanderen en de veiligheid van de mens te verhogen. Ook voor verlichting zijn er verschillende normen opgesteld.

De norm NBN EN 12464-1 schrijft volgende karakteristieken voort.

Hierbij:  $E$  of  $E_{gem}$  = de gemiddelde verlichtingssterkte in lux

$U$  of  $U_0$  = de uniformiteit van het licht

$UGR$  of  $UGR_l$  = de verblindingsgraad

$Ra$  = de kleurweergave index

	<i>E</i>	<i>U</i>	<i>UGR</i>	<i>Ra</i>
<i>Kantoor</i>				
Schrijven, typen, dataverwerking	500	0.6	19	80
Receptie	300	0.6	22	80
CAD tekenen	500	0.6	19	80
<i>Assemblage</i>				
Ruw	200	0.6	25	80
Matig	300	0.6	25	80
Fijn	500	0.6	22	80
Precisie	750	0.7	19	80
<i>Onderwijs</i>				
Klaslokaal	300	0.6	19	80
Auditorium	500	0.6	19	80
Sporthal	300	0.6	22	80
Keuken	500	0.6	22	80
Trappen	150	0.4	25	80
<i>Gezondheidszorg</i>				
Onderzoeks/behandelruimte	1000	0.7	19	80
Scanner	50	/	19	80
Operatiekamer	1000	0.6	19	90
Wachtzone	200	0.4	22	80

Tabel 8: Verlichtingsnormen [24]

**Besluit:** in een auditorium moet er een lux-waarde zijn van 500, een uniformiteit van 0,6, een maximale verblindingsgraad van 19 en een kleurweergave index van 80.



## 6.2 Elektrisch verbruik door verlichting

De verlichting in de klaslokalen is gemiddeld 72% van het totale elektrische verbruik. Er kan dus een groot deel aan energie bespaard worden wanneer we er voor zorgen dat de verlichting enkel ingeschakeld is wanneer dit echt nodig is.

Het is mogelijk om dit te automatiseren door gebruik te maken van aanwezigheids- en bewegingsmelders. Men kan extra besparen door voor een lux-gestuurde regeling te kiezen.

## 6.3 Besparingsmogelijkheden

De norm EN15232 geeft weer dat we voor verlichting een efficiëntie factor van 1,1 hebben, aangezien we een energieprestatie index van klasse “D” behalen. We kunnen deze factor verlagen naar factor 0,76 door bewegingsmelders en luxsturing te installeren. Dit betekent een algemene besparing van maar liefst 34%.

### 6.7 Detailed BACS efficiency factors for lighting and auxiliary energy

Factors for non residential building types are available as detailed factors (Table 13) accounting for different BACS impacts on energy performance of electricity for lighting and auxiliary energy.

Table 13 — Detailed BACS Efficiency factors  $f_{BACS,el-li}$  and  $f_{BACS,el-au}$  – Non-residential buildings

Non-residential building types	Detailed BACS efficiency factors $f_{BACS, el-li}$ and $f_{BACS, el-au}$							
	D		C (Reference)		B		A	
	Non energy efficient		Standard		Advanced		High energy performance	
	$f_{BACS, el-li}$	$f_{BACS, el-au}$	$f_{BACS, el-li}$	$f_{BACS, el-au}$	$f_{BACS, el-li}$	$f_{BACS, el-au}$	$f_{BACS, el-li}$	$f_{BACS, el-au}$
Offices	1.1	1.15	1	1	0.85	0.86	0.72	0.72
Lecture hall	1.1	1.11	1	1	0.88	0.88	0.76	0.78
Education buildings (schools)	1.1	1.12	1	1	0.88	0.87	0.76	0.74
Hospitals	1.2	1.1	1	1	1	0.98	1	0.96
Hotels	1.1	1.12	1	1	0.88	0.89	0.76	0.78
Restaurants	1.1	1.09	1	1	1	0.96	1	0.92
Wholesale and retail trade service buildings	1.1	1.13	1	1	1	0.95	1	0.91
Other types: - sport facilities - storage - industrial buildings - etc.	-	-	1	1	-	-	-	-

Figuur 57: Efficiëntie factoren EN15232 [23]

## 6.4 Aan-/uitsturing van de verlichting

### 6.4.1 Type detectie

Er worden hoofdzakelijk 2 type sensoren gebruikt om de verlichting te sturen. Er is bewegingsdetectie en aanwezigheidsdetectie. Deze 2 worden vaak verward.

### 6.4.2 Bewegingsdetectie

Een bewegingsdetector is een sensor die een stuursignaal creëert afhankelijk van beweging in een ruimte. Of met andere woorden: er wordt een stuursignaal gecreëerd wanneer er een mens, dier of voorwerp van positie verandert.

Dit type detector wordt gebruikt in ruimtes waar veel beweging is zoals in gangen.

### 6.4.3 Aanwezigheidsdetectie

Een aanwezigheidsdetector is een sensor die een stuursignaal creëert afhankelijk van een lichaam dat zich in een ruimte bevindt.

Dit type detector wordt gebruikt wanneer er stationaire mensen in een ruimte aanwezig zijn, zoals in een leslokaal.

### 6.4.4 Waarnemingsmethoden detectoren

Om deze beweging of aanwezigheid te detecteren zijn er verschillende waarnemingsmethoden. Elke methode heeft zijn voor en nadelen.

### 6.4.5 PIR detectors

PIR of "Passive infrared sensors" zijn sensoren die infrarood licht meten van objecten in het gezichtsveld. We gebruiken hier de term "passive" aangezien de sensor zelf geen signaal genereert om te detecteren, maar het infrarood licht detecteert.

Aangezien de detector infrarood licht registreert moet men oppassen dat er geen valse detectie voorkomt door andere warmte bronnen zoals radiatoren, computers,...

### 6.4.6 Ultrasonische detectors

Een ultrasoon detector gebruikt ultrasoon geluid (geluidstrillingen) om te detecteren of er beweging is. Wanneer het uitgezonden signaal verschilt van het ontvangen signaal is er bewogen.

### 6.4.7 Microgolf detectors

Een microgolf detector heeft het zelfde werkingsprincipe als een ultrasoon sensor, enkel is de geluidstrilling hier van een hogere frequentie. Dit type detector is veel gevoeliger en kan zelfs doorheen muren gebruikt worden.

## 6.5 Daglichtsturing

Om extra te besparen kunnen we gebruik maken van een daglichtsturing. Een daglichtsturing meet de lichtsterkte in de ruimte en vertaalt dit naar een analoge waarde (0-10V signaal) of een digitale waarde (Dali). Dat signaal wordt verstuurd naar de ballasten om deze te dimmen.

Deze sturing zou een besparing van ongeveer 50% opbrengen volgens verschillende producenten.

### 6.5.1 Luxmeting

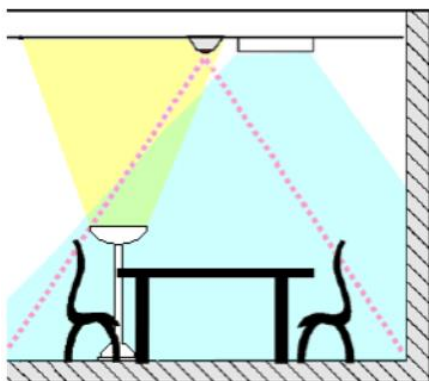
Het binnentredende daglicht wordt gemeten met een luxmeter. Afhankelijk van deze luxwaarde wordt de lamp gedimd. We kunnen dit analoog doen of digitaal. Analoog is dit een signaal van 0-10V waarbij dat 0V volledig gedimd is, en 10V wanneer hij volledig aan is. Digitaal kan dit gebeuren via communicatie protocollen zoals Dali of het oudere Dsi. In deze voorstellen gaan we ons vooral baseren op de Dali techniek aangezien deze tegenwoordig het meeste wordt toegepast. Ook wordt dit communicatie protocol toegepast in de nieuwe LED technologieën van bijvoorbeeld Phillips.

### 6.5.2 Plaatsing van de lux-sensor

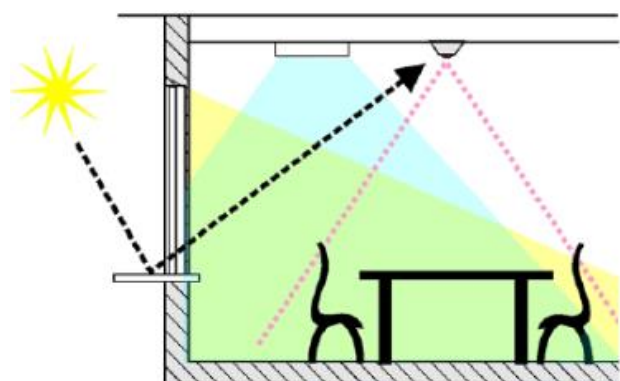
Om een juiste lichtintensiteit te verkrijgen moeten we rekening houden dat de meter correct geïnstalleerd is. Dit is vaak een generische uitleg voor verschillende producenten.

Hieronder zien we de tips die de fabrikant Tridonic bij zijn Msensor geeft. [25]

- De luxsensor moet de oppervlakte die verlicht is, meten. Enkel op deze manier kan hij een overbelichting waarnemen, en kan de lichtintensiteit waargenomen worden.  
-> Positioneer de sensor zo dat de oppervlakte van waarneming binnen de belichte oppervlakte ligt.
- Houd rekening met valse lichtbronnen. Het licht kan weerkaatsen van een vensterbank of andere objecten waardoor er een valse meting genomen wordt.  
-> Zorg dat de perceptie oppervlakte van de sensor zich **binnen** de oppervlakte van de kamer bevindt. Vermijd reflectie.
- Bij het installeren van meerdere sensoren in 1 ruimte, kunnen de perceptie oppervlakten elkaar overlappen. Dit zorgt voor valse "overlappende" meetresultaten.
- Wanneer men de lichtintensiteit meet, meet men eigenlijk de weerkaatsing van het licht op de objecten en de vloer.



Figuur 59: Positie lux sensor t.o.v warmtebronnen



Figuur 58: Positie lux sensor t.o.v lichtreflecties

## 6.6 Wat is Dali?

“Digital adressable lighting” of “Dali” in het kort is een netwerk tussen verlichtingscomponenten. Dit protocol maakt het mogelijk dat er communicatie is tussen de controller(master) en de verlichtingscomponent(slave). Zo kunnen er tot 64 verlichtingscomponenten gedimd en gemonitord worden.

### 6.6.1 Voordelen Dali

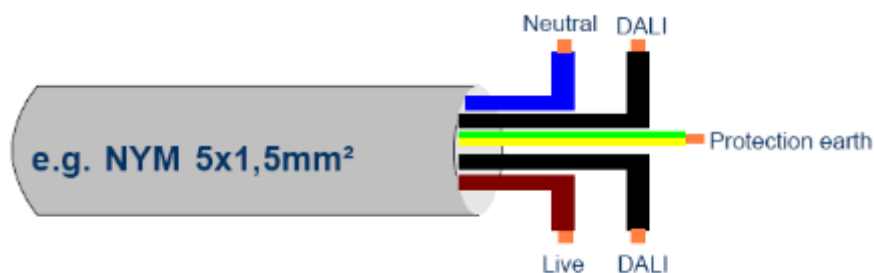
- Dali is een internationaal protocol. Deze is niet gelinkt aan één fabrikant en er kan dus gemixt worden tussen verschillende merken.
- Energiebesparing
- Monitoring

### 6.6.2 Werking Dali

Om een verbinding tussen alle netwerkcomponenten te creëren moet men een 2 aardige kabel verbinden tussen de master en slave. De master component in het systeem beschikt over een voeding en voed elke slave. Elke slave heeft op zijn beurt een uniek adres

### 6.6.3 Verbinding

Kabels kosten natuurlijk geld. Het Dali systeem is geoptimaliseerd om te werken bij veel elektrische ruis. Daardoor is het mogelijk om de 2 aardige kabel te integreren in de 3 aardige kabel die men naar elke armatuur trekt. Er moet geen extra insulatie tegen storing worden voorzien. De kabel mag een lengte hebben tot 300m bij minimaal 5x1,5 mm<sup>2</sup>.



Figuur 60: Dali compatibele kabel [26]

Bij renovaties is dit natuurlijk anders. Dan volstaat het om de verbinding te leggen met een 2x1,5 mm<sup>2</sup> kabel.

## 6.7 Standalone Dali sturing in F108

Om de verlichting met Dali te sturen, moeten de ballasten vervangen worden. Een voorbeeld van een ballast met Dali besturing is de ECO T8 2x36W van Tridonic. In combinatie met een Tridonic Msensor 2 hebben we de bewegingsmelder, aanwezigheidsmelder en de lux-sensor in één component. In deze opstelling is de melder de master en de ballast de slave. De Dali commando's worden dus verstuurd van de Msensor.

Ruw geschat zou de installatie ongeveer 20 uren duren.

Dit houdt in:

- Demonteren ballast
- Monteren nieuwe ballast
- Monteren Msensor 2
- Bekabelen Dali
- Juiste instellingen uitvoeren

<b>Kosten installatie Dali</b>	
Kostprijs ballast (ECO T8)	€ 41,00
Aantal ballasten	15
Kostprijs melder(Msensor 2)	€ 91,70
Aantal melders	2
Prijs per werkuur	€ 45,00
Geschatte werkuren installatie+programmatie totaal	20u
Totale kost	€ 1.698,40

Tabel 9: Kosten raming installatie Dali

## 6.8 Dali sturing met Beckhoff

Om een Dali gestuurde lichtregeling te doen zijn er 2 opties. We kunnen kiezen voor een centrale of een decentrale roomcontroller. Een centrale roomcontroller bestuurt meerdere leslokalen in 1 keer. Bijvoorbeeld 1 verdieping of vleugel. Een decentrale roomcontroller bestuurt slechts 1 lokaal. Wij werken dit voorstel uit met een decentrale sturing aangezien we enkel over het lokaal F108 spreken.

De Dali sturing met een Beckhoff roomcontroller als master lijkt sterk op de sturing besproken in 5.11. In deze sturing wordt de Msensor echter ingesteld in de "indirect master mode". In deze mode stuurt de Msensor geen commando's naar de ballasten. Hij stuurt echter de lichtsterkte en de aanwezigheid status naar een hoger gelegen master, de roomcontroller dus. Deze roomcontroller analyseert de informatie en verzendt daarna de commando's naar de ballasten.

Het voordeel t.o.v. de sturing besproken in 5.11 is dat er hier meer flexibiliteit is. Enkele voorbeelden:

- De roomcontroller kan op elk moment ingrijpen en andere commando's sturen naar de verlichting.
- Gekoppeld aan het gebouwbeheersysteem kan bij brand alle verlichting geactiveerd worden
- De status van de verlichting kan gemonitord worden. D.w.z. dat de ballast aan het gebouwbeheersysteem kan melden wanneer er een TL-lamp stuk is.

<b>Kosten installatie Dali decentraal</b>	
Kostprijs ballast (ECO T8)	€ 41,00
Aantal ballasten	15
Kostprijs melder(Msensor 2)	€ 91,70
Aantal melders	2
Kostprijs BC9191+Dali klem KL6811	€ 481,00
Prijs per werkuur	€ 45,00
Geschatte werkuren installatie+programmatie totaal	25u
Totale kost	€ 2.404,40

Tabel 10: Kosten raming installatie Dali decentraal

## 6.9 Besparing met Dali

Verschillende fabrikanten zoals Tridonic, Philips en Osram rekenen op een besparing van 80% bij het installeren van bovenstaande automatisering. Aangezien dit afhankelijk is van situatie tot situatie lijkt het ons realistischer om met de gegevens in de EN15232 te rekenen. Deze norm beschrijft een besparing van 34%.

We komen tot het volgende besluit.

<b>Besparing met Dali</b>	
Energieverbruik	1192 kW/h
Energiekost per kW/h	€ 0,19
Energiekost per jaar	€ 226,54
Besparingspotentieel met Dali	34%
Energiekost per jaar met Dali	€ 77,02
Prijs investering	€ 2.404,40
Terugverdientijd	31,2 jaren

Tabel 11: Besparing met Dali

## 6.10 Enocean aanwezigheids-, bewegings-, luxsensoren

Een andere manier om aanwezigheid van mensen en de lichtsterkte te detecteren is door gebruik te maken van de eerder besproken Enocean technologie. Dit zou bijvoorbeeld ideaal zijn bij het gebruik van de ITRV thermostaatkranen die ook de Enocean technologie gebruiken. Deze sensoren zijn verkrijgbaar met of zonder zonnepanelen. De versie met zonnepanelen moeten geen aansluiting op de netstroom of laagspanning krijgen, de versie zonder zonnepanelen natuurlijk wel. Als voorbeeld gebruiken we de producten van CNS of “control network solutions”. Deze producent heeft een waaier aan sensoren die Enocean technologie ondersteunen.



Figuur 61: SR-MDS solar ceiling sensor [27]



Figuur 62: SR-MDS ceiling sensor [27]

## 6.11 Besluit Dali sturing

Een verlichtingssturing met Dali is een interessante oplossing. Maar de terugverdientijd wanneer men een decentrale sturing installeert, valt tegen. Dit komt door de hoge kostprijs van de roomcontroller en de Dali klem. Ook wordt er geïnvesteerd in de oude fluorescentie technologie. Het lijkt dan interessanter om een lichtsturing te integreren bij het vervangen van de armaturen.

## 7 Voorstel toepassen van vernieuwde verlichting

Zoals eerder vermeld is het energieverbruik van verlichting ongeveer 72% van het totale energieverbruik. Door gebruik te maken van vernieuwende verlichtingstechnieken is het mogelijk om een groot deel te besparen.

Wanneer we aan verlichting denken, denken we automatisch aan de gloeilamp. De gloeilamp werd uitgevonden in 1879 door Thomas Edison. Door het lage lichtrendement van 5 á 10% werd deze verlichtingsmethode verboden op 1 september 2012.

Sinds de jaren 1950 is er een waardige opvolger voor de gloeilamp. Namelijk de TL, of tube fluorescent lamp. Deze verlichtingsmethode heeft een rendement van 5 á 6 keer hoger als de traditionele gloeilamp. Deze verlichtingsmethode vinden we in vrijwel alle oudere gebouwen terug.

Sinds de opkomst van de LED verlichting begint dit verhaal te veranderen. Sinds het verbod van de gloeilamp is het marktaandeel deels verschoven naar CFL (compact fluorescentielampen) en naar LED verlichting. Dit zorgt ervoor dat de jonge LED technologie zich verder heeft kunnen ontwikkelen.

### 7.1 Huidige verlichting

Als referentielokaal hebben we F108 gekozen. Als we het elektrische verbruik willen weten kunnen we dit meten of berekenen. We hebben geen vrije toegang tot de elektriciteitskasten dus besloten we dit te berekenen.

#### 7.1.1 Branduren per dag

Onderstand tabel (tabel 10) geeft weer wanneer dit lokaal gebruikt wordt doorheen de dag.

<u>Uren</u>	<u>Omschrijving</u>
8:30-10:30	Les
10:30-10:45	Pauze
10:45-12:45	Les
12:45-13:30	Middagpauze
13:30-15:30	Les
15:30-15:45	Pauze
15:45-17:45	Les
Totaal aantal uren:	8 uren

Tabel 12: Branduren per dag



### 7.1.2 Branddagen per week

De school is gedurende 5 dagen per week open. Dit lokaal is niet elke dag volledig bezet. We hebben het bezettingsschema (tabel 11) van dit lokaal gedurende week 13 en 14 van het jaar 2015 opgevraagd. We hopen op deze manier een juiste indicatie te krijgen van de bezettingsgraad per week.

<u>Dag</u>	<u>Bezettingsuren</u>
23/03	7u
24/03	6u
25/03	7u
26/03	8u
27/03	6u
30/03	8u
31/03	7u
01/04	0u
02/04	8u
03/04	6u
Totaal aantal uren:	63u

Tabel 13: Bezetting per week

Totale bezettingsfactor =  $63u/80u = 0,788$  of 78,8%

Hiermee bedoelen we dat de verlichting per dag gemiddeld 78,8% van de 8 uren aanstaat.

### 7.1.3 Brandweken per jaar

Gedurende de vakanties is de school gesloten waardoor de lampen niet gebruikt worden. We houden rekening met volgende vakanties(tabel 12):

<b>Vakantie</b>	<b>Aantal weken</b>
Kerstvakantie	2 weken
Krokusvakantie	1 week
Paasvakantie	2 weken
Zomervakantie	11 weken
Herfstvakantie	1 week
Totaal aantal weken vakantie:	17 weken

Tabel 14: Brandweken per jaar

In totaal zijn er per jaar 17 weken vakantie. Dit betekent dat de verlichting 52 weken – 17 weken = 35 weken gebruikt kan worden.

### 7.1.4 Totaalverbruik van de verlichting in F108

35 weken \* 5 dagen = 175 verbruiksdagen van 8u

175 dagen \* 8u \* 0,788 = 1104 branduren

### 7.1.5 Huidig energieverbruik voor verlichting in F108

<b>Energieverbruik in de F108</b>	
Aantal armaturen	15
Aantal lampen	2
Type lamp	Osram TL T8 36/31-830
Link	<a href="#">M L 18W 31-830.html</a>
Vermogen per lamp	36W
Totaal geïnstalleerd vermogen	1080W
Totale branduren	1104h
Totale energieverbruik in kWh per jaar	1192,32kWh
Energiekost per kWh	€ 0,19
Totale energiekost in € per jaar	€ 226,54

Tabel 15: Energieverbruik van de TL verlichting in het lokaal F108

### 7.1.6 Huidige Onderhoudskosten F108

Verlichting gaat stuk. Telkens wanneer een tl lamp defect is moet er een werkmans deze lamp komen vervangen. Daarom is het ook belangrijk om de onderhoudskosten van de verlichting te bepalen.

De service life van de Osram T8 TL lamp zou liggen op 18000u. Dit wordt sterk verminderd wanneer de lampen “flikkeren” tijdens de opstart periode. Dit flikkeren representeert een hoge ontstekingsstroom op de koude elektroden in de fluorescentielamp. Afhankelijk van het aantal aanschakelingen zal er emitterpasta (bariumoxide) op deze elektroden verdampen. Dit resulteert in een lamp die een hogere brandspanning nodig heeft dan er geleverd wordt. De lamp en de lamp begint hierdoor zeer storend te flikkeren.



Figuur 63: Componenten TL-lamp

Aangezien de verlichting meermaals per dag aan- en uitgeschakeld wordt moeten we rekenen met een verlaagde service life. Ook het feit dat met verouderde elektromechanische ballasten gebruikt speelt hier een rol. Meermaals wordt er verwezen naar een levensduur tussen 10000u en 15000u. Volgens een vertegenwoordiger bij Rexel die betrokken is in verschillende relighting projecten, lijkt een levensduur van 12000u per lamp reëel in deze situatie. We gebruiken dit getal in onze verdere berekeningen. In onderstaande tabel (tabel 16) zijn de parameters zichtbaar die we gebruiken om de totale kost van de verlichting te berekenen (tabel 17).

**Opmerking:** we houden geen rekening met eerdere of later uitval van lampen. In deze situatie vervangen we alle lampen in één keer. De kostprijs van de ontsteker hebben we verwaarloosd aangezien de €2,45 per lamp een eenheidsprijs is en afwijkt van de prijs in bulk verkoop.

Onderhoudskosten in de F108	
Totaal lampen	30
Maximaal branduren	12000h
Tijd vervangen lamp	5min
Kosten per werkuur	€ 45,00
Branduren per jaar	1104h
Kostprijs per lamp	€ 2,45
Type lamp	Osram TL T8 36/31-830

Tabel 16: Onderhoudskosten van de TL verlichting in het lokaal F108

### 7.1.7 Totale kosten verlichting F108

Door gebruik te maken van bovenstaande tabellen kunnen we nu de kostprijs berekenen over 40 jaar. Dit is nodig omdat we gaan vergelijken met nieuwere LED-verlichting die een lange levensduur heeft.

Aantal jaren	Prijs elektriciteit TL	Onderhoudskosten TL	Totale kost TL lamp
Jaar 0 - installatie		€ 186,00	€ 186,00
Jaar 1	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 2	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 3	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 4	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 5	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 6	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 7	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 8	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 9	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 10	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 11	€ 226,54	€ 186,00	€ 412,54
Jaar 12	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 13	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 14	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 15	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 16	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 17	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 18	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 19	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 20	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 21	€ 226,54	€ 186,00	€ 412,54
Jaar 22	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 23	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 24	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 25	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 26	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 27	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 28	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 29	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 30	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 31	€ 226,54	€ 186,00	€ 412,54
Jaar 32	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 33	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 34	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 35	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 36	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 37	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 38	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 39	€ 226,54	€ -	€ 226,54
Jaar 40	€ 226,54	€ -	€ 226,54
<b>Totale kosten van de verlichting</b>			<b>€ 9.805,63</b>

Tabel 17: Totale kosten voor de TL verlichting in het lokaal F108

**Besluit:** Op 40 jaar zijn de TL-buizen 3x vervangen. Dit zorgt voor een totale onderhoudskost (installatie + prijs van de lampen) van €744,00. De elektrische kost is €9.061,63. Dit maakt een totale kost van €9.805,63 om het lokaal F108, 40 jaar te verlichten. We houden hier geen rekening met de stijgingen of dalingen van de elektriciteitskosten. Ook houden we geen rekening met het rendement van de ballasten.

## 7.2 Led verlichting

De laatste jaren is er op gebied van Led verlichting zeer veel ontwikkeld. Er zijn verschillende fabrikanten die nu inzetten op Led technologie, bijvoorbeeld Philips of Osram. Het is duidelijk dat deze producenten op verschillende vlakken hun conventionele fluorescentielampen proberen te vervangen door Led verlichting. Dit doet men door led TL lampen te ontwikkelen die in de geïnstalleerde armaturen passen.

### 7.2.1 Verschil conventionele TL en TL-led

Er zijn enkele verschillen tussen de conventionele fluorescentie TL lamp en de TL-led.

- Led lamp heeft een lager elektrisch verbruik
- Led lamp heeft een hoger aantal branduren
- Led lamp heeft afhankelijk van het type een ingebouwde spiegeloptiek
- Led lamp heeft een hogere kost prijs

Met het gebruiken van een TL-led lamp kunnen we besparen op elektriciteits- en onderhoudskosten. We moeten wel rekening houden met de hogere eenheidsprijs van de lampen.

### 7.2.2 Misverstanden bij het gebruik van TL-led lampen

De TL-led lamp is een nieuwe technologie die sinds enkele jaren aan het doorbreken is. Hierdoor zijn er nog zeer veel geruchten over deze verlichtingstechniek. We sommen de voor- en nadelen op om tot een onderbouwde beslissing te komen: zijn de TL-ledlampen het waard of niet?

#### 7.2.2.1 De TL-led tube verblind

**Probleem:** de TL-led tube heeft een vaak ingebouwde spiegeloptiek. Hierdoor wordt de spiegeloptiek in de armatuur niet meer gebruikt. Dit zorgt voor een hinderlijke verblinding of reflectie in beeldschermen.

**Besluit:** de spiegeloptiek in de TL-led tube is specifiek ontworpen voor het gebruik bij leds. We gaan ervan uit dat wanneer we voor TL-led tubes kiezen van een respectabele producent, de verblinding en reflecties minimaal zijn door een goed ontworpen interne spiegeloptiek.

### 7.2.2.2 De kleurweergave

**Probleem:** de TL-led tube heeft een te verschillende kleurweergave dan de conventionele fluorescentielampen. Hierdoor heeft men een laag comfort.

**Besluit:** de TL-led tube van een respectabele producent heeft een Ra –waarde gespecificeerd gekregen. Hieruit kunnen we opmaken of de kleurweergave voldoet aan de norm.

Toepassing	Kleurweergave (Ra)	(Advies)normen
Straatverlichting	>60	NPR 13201-1 en ROVL-2011
Kantoorverlichting	>80	NEN 12464
Winkelverlichting	>90	

Figuur 64: Kleurweergave [28]

### 7.2.2.3 De lichtopbrengst

**Probleem:** de lichtopbrengst van een TL-led tube is lager dan bij een fluorescentielamp.

**Berekening:** het klopt dat de lichtopbrengst van een TL-led tube lager is dan bij een fluorescentielamp. Maar welke lichtopbrengst heeft de huidig geïnstalleerde TL lamp? We hebben a.d.h.v. volgende berekening onze besluiten getrokken. Deze berekening is vrijgegeven door “Ledsgogreener”, een producent van TL-led verlichting die reeds 10 jaar Led verlichting produceert voor de internationale markt.

Fluorescentie TL in armatuur met spiegeloptiek	
Specificaties lamp: 58W 150cm	5240 Lumen
Lichtterugval	917 Lumen
Lichtterugval door vervuiling	786 Lumen
Werkelijke lumen-output	3537 Lumen
Verlies door armatuur	619 Lumen
Netto lichtopbrengst	2918 Lumen
TL-Led in bestaande armatuur	
Specificaties lamp: LG05/150CM 24W	2760 Lumen
Lichtterugval	69 Lumen
Netto lichtopbrengst	2691 Lumen

Tabel 18: Lichtopbrengst TL vs TL-led in bestaande armatuur

**Besluit:** het verschil tussen de fluorescentie TL en de TL-led is verwaarloosbaar klein. Deze vergelijking mag met een korrel zout genomen worden. Ze is opgesteld door een verkoper van TL-led verlichting. Er zijn geen meetgegevens of verslagen beschikbaar. Ook stellen we ons vragen bij de lichtterugval gebruikt in de vergelijking. Bij de producent die deze vergelijking opstelde zijn er geen gegevens beschikbaar over de lumenbehoudfactor op het einde nominale levensduur.

Er wordt door verschillende bedrijven aangeraden om na het vervangen van TL-led retrofit lampen een lux meting uit te voeren. Enkel op deze manier kan men zeker zijn dat de wettelijke lichtsterkte behaald wordt.

#### 7.2.2.4 Ombouw armatuur

**Probleem:** wanneer we TL-led verlichting gebruiken moeten we de huidige installatie aanpassen.

**Besluit:** dit klopte bij de vorige generatie TL-led lampen. De aanpassing zorgde ervoor dat de armaturen niet meer gecertificeerd zijn. Bij de nieuwe generatie lampen is dit echter niet meer het geval.

##### Conventionele elektromechanische VSA:

**Oude generatie:** 220V op de lampvoet aanbrengen.

**Nieuwe generatie:** de TL-led lamp moet samen met een LED starter geïnstalleerd worden. Verder moeten er geen wijzigingen gemaakt worden. De elektromechanische VSA wordt niet meer gebruikt.

##### Elektronische VSA:

**Oude generatie:** 220V op de lampvoet aanbrengen.

**Nieuwe generatie:** er zijn TL-led lampen ontwikkeld die de elektronica van de EVSA benutten. Er moet dus niets omgebouwd worden. De Elektronische VSA wordt dus wel nog gebruikt.

## 7.3 Besparing met TL-led

### 7.3.1 TL-led Phillips LED T8 value

Energieverbruik TL-led	
Aantal armaturen	15
Aantal lampen	2
Type lamp	Philips LED T8 value
Link	ter-inclusief-draaibaar
Vermogen per lamp	14,5W
Totaal geïnstalleerd vermogen	435W
Totale branduren per jaar	1104h
Totale energieverbruik kWh per jaar	€ 480,24
Energiekost per kWh	€ 0,19
Totale energiekost € per jaar	€ 91,25

Tabel 19: Energieverbruik van de TL-led verlichting in het lokaal F108

Onderhoudskosten TL-led in de F108	
Totaal lampen	30
Maximaal branduren	40000u
Tijd vervangen lamp	5min
Kosten per werkuur	€ 45,00
Branduren per jaar	1104u
Kostprijs per lamp	€ 18,49
Type lamp	Philips LED T8 value
Tijd ombouw armatuur	5min
Kost ombouw per arm.	€ 3,75

Tabel 20: Onderhoudskosten van de TL-led verlichting in het lokaal F108



Aantal jaren	Prijs elektriciteit TL-LED1	Onderhoudskosten TL-LED1	Totale kost TL-LED1
Jaar 0 - installatie		€ 723,45	€ 723,45
Jaar 1	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 2	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 3	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 4	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 5	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 6	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 7	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 8	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 9	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 10	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 11	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 12	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 13	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 14	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 15	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 16	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 17	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 18	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 19	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 20	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 21	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 22	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 23	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 24	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 25	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 26	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 27	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 28	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 29	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 30	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 31	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 32	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 33	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 34	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 35	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 36	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 37	€ 91,25	€ 667,20	€ 758,45
Jaar 38	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 39	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Jaar 40	€ 91,25	€ -	€ 91,25
Totale kosten van de verlichting			€ 5.040,47

Tabel 21: Totale kosten voor de verlichting met TL-led in het lokaal F108

## 7.4 Terugverdientijd

Om de terugverdientijd te berekenen doen we een cumulatieve berekening van de totale kosten van de conventionele TL verlichting en de TL-led verlichting.

	Conventionele TL verlichting		TL-led	
Jaar 0 - installatie	€ 186,00	€ 186,00	€ 723,45	€ 723,45
Jaar 1	€ 226,54	€ 412,54	€ 91,25	€ 814,70
Jaar 2	€ 226,54	€ 639,08	€ 91,25	€ 905,94
Jaar 3	€ 226,54	€ 865,62	€ 91,25	€ 997,19
Jaar 4	€ 226,54	€ 1.092,16	€ 91,25	€ 1.088,43
Jaar 5	€ 226,54	€ 1.318,70	€ 91,25	€ 1.179,68
Jaar 6	€ 226,54	€ 1.545,24	€ 91,25	€ 1.270,92
Jaar 7	€ 226,54	€ 1.771,79	€ 91,25	€ 1.362,17
Jaar 8	€ 226,54	€ 1.998,33	€ 91,25	€ 1.453,41
Jaar 9	€ 226,54	€ 2.224,87	€ 91,25	€ 1.544,66
Jaar 10	€ 226,54	€ 2.451,41	€ 91,25	€ 1.635,91
Jaar 11	€ 412,54	€ 2.863,95	€ 91,25	€ 1.727,15

Tabel 22: Terugverdientijd TL-led verlichting

We zien dat er aan het begin van het vierde jaar de totale kost van de installatie tussen de conventionele TL en de TL-led gelijk is. Vanaf het vierde jaar (derde jaar operationeel) is de TL-Led verlichting dus goedkoper dan de conventionele verlichting.

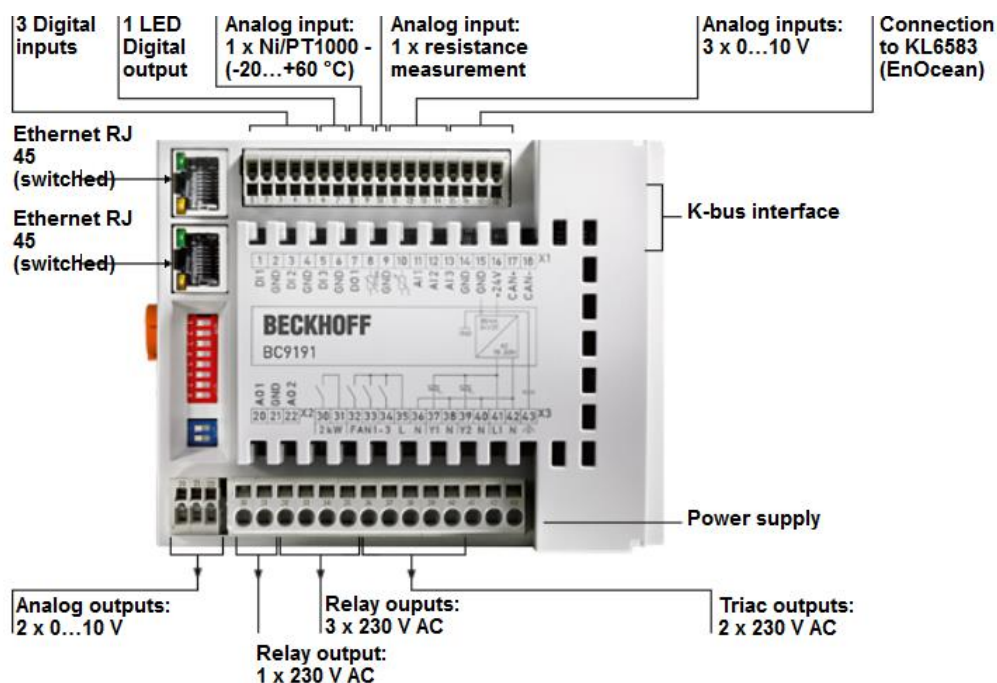
Vanaf jaar elf zien we een extra stijging in de kostprijs van de conventionele TL verlichting. Dit komt omdat men na elf jaar de maximale branduren van de conventionele TL lamp overschrijdt.

## 7.5 Besluit TL-led

Met de TL-led lampen is het in ons geval mogelijk om ongeveer 50% te besparen op de totale kost van de installatie. Dit is een fikse besparing. Ook valt de terugverdientijd van de investering mee. Een belangrijke opmerking is dat de TL-led lamp gedurende 36 jaar niet vervangen moet worden. Misschien is het dan interessanter om een complete relighting te laten doen door bijvoorbeeld Rexel. Bij zo een relighting wordt er gekeken welke armaturen het hoogste rendement hebben in elk uniek geval. Het is dan mogelijk om meteen voor de Dali gestuurde armaturen met led verlichting te kiezen, en de energieprijzen nog te doen dalen.

## 8 Automatiseren met een roomcontroller

We hebben in afgelopen hoofdstukken meermaals gepraat over de roomcontroller. Beckhoff heeft een roomcontroller ontwikkeld die men ondertussen wereldwijd gebruikt. De BC9191 wordt bijvoorbeeld gebruikt in kajuiten van cruiseschepen, hotelkamers, vergaderzalen, auditoriums,... [29]



Figuur 65: Beckhoff BC9191 [29]

### 8.1 Functies van de BC9191

De BC9191 heeft zeer veel ingebouwde mogelijkheden. Standaard wordt deze geleverd met een EN15232-programma waarmee men energieprestatie index "A" kan behalen. Ook volgt men de functies beschreven in de VDI 3813-norm.

De functies van de BC9191:

- 3x Digitale input (raamcontact, dauwpunt sensor, aanwezigheidssensor,...)
- 1x Led output
- 3x Analoge input 0-10V (CO2 sensor, luchtkwaliteit sensor, lux sensor,...)
- 1x Weerstandsmeting (potentiometer om bijv. kamertemperatuur in te stellen,...)
- 1x Input PT/Ni1000 (luchttemperatuur meting van -20°C tot 60°C,...)
- 2x Analoge output 0-10V (bediening volumetrische luchtflow,...)
- 1x Relais output 10A (Aanschakelen elektrische luchtverwarming,...)
- 3x Relais output 2A (3 standen ventilator,...)
- 2x Triac output

## 8.2 De verschillende versies BC9191 roomcontrollers

Er zijn 2 verschillende versies van de BC9191. De eerste versie, de BC9191-0000, heeft een CAN-Bus beschikbaar. Hiermee kunnen we een EnOcean module (KL6583) aansturen. De tweede versie, de BC9191-0100 heeft een RS485 connectie beschikbaar.

**Besluit:** we kiezen in onze situatie voor de BC9191 met CAN-Bus. Dit omdat we in het verwarmingsvoorstel willen werken met regelbare thermostaatkranen.

## 8.3 Besluit roomcontroller

De roomcontroller is een zeer interessant concept van automatiseren. Dit is een perfecte oplossing met het oog op energiebesparing. We zouden d.m.v. deze techniek elk leslokaal decentraal willen automatiseren maar dit is helaas niet rendabel omdat de kostprijs bij een renovatie te hoog ligt.

Bij nieuwbouw kan men het gebouw zo ontwerpen dat de verwarming, verlichting, koeling en ventilatie decentraal te sturen valt. Men kan op die manier dus 100% de mogelijkheden van de roomcontroller benutten en energie besparen.

Voor dit project is de roomcontroller enkel interessant voor EnOcean communicatie en verlichtingssturing. Een andere mogelijkheid is om deze roomcontroller centraal te gebruiken. Door ze te installeren in de elektriciteitskast bijvoorbeeld. Op deze manieren kan men toch nog EnOcean communicatie en een verlichtingssturing integreren.

## 9 Bibliografie

- [1 „Arduino Homepage,” [Online]. Available: <http://www.arduino.cc>. [Geopend 28 05 2015].  
]
- [2 „DHT11 Datasheet,” [Online]. Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>. [Geopend  
] 14 05 2015].
- [3 „DHT22 Datasheet,” [Online]. Available:  
] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. [Geopend 14 05  
] 2015].
- [4 G. Krockner, „GitHub,” [Online]. Available: <https://github.com/GeorgK/MQ135>. [Geopend 13  
] mei 2015].
- [5 „MQ135 Datasheet,” [Online]. Available: <http://www.cooking-hacks.com/skin/frontend/default/cooking/pdf/MQ-135.pdf>. [Geopend 14 05 2015].
- [6 „CDN,” [Online]. Available: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0019/5952/files/ABC-calibration.pdf>. [Geopend 27 05 2015].
- [7 „Json Wikipedia,” [Online]. Available: <http://nl.wikipedia.org/wiki/JSON>. [Geopend 14s 05  
] 2015].
- [8 „CircuitSpecialist,” [Online]. Available: <http://www.circuitspecialists.com/64-8932.html>.  
] [Geopend 13 mei 2015].
- [9 „Sparkfun DS18B20 Datasheet,” [Online]. Available:  
] <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>. [Geopend 30 05 2015].
- [1 „Wikipedia NDIR,” [Online]. Available:  
0] [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_dioxide\\_sensor#Nondispersive\\_Infrared\\_.28NDIR.29\\_CO2\\_Sensors](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_sensor#Nondispersive_Infrared_.28NDIR.29_CO2_Sensors). [Geopend 31 05 2015].
- [1 „CO2Meter K30 sensor,” [Online]. Available: <http://www.co2meter.com/products/k-30-co2-1-sensor-module>. [Geopend 31 05 2015].
- [1 „Kalibratie procedure K30 sensor,” [Online]. Available:  
2] [http://cdn.shopify.com/s/files/1/0019/5952/files/calibration\\_procedure.pdf?1243553821](http://cdn.shopify.com/s/files/1/0019/5952/files/calibration_procedure.pdf?1243553821).  
] [Geopend 31 05 2015].
- [1 „Manual Utilizare Oxy Refresh,” Jaga, [Online]. Available: <http://www.ventiloconvectoare-pardoseala.ro/pdf/Manual-Utilizare-Oxy-Refresh.pdf>. [Geopend 13 mei 2015].
- [1 Aeropulmo. [Online]. Available:  
4] [http://www.aeropulmo.be/Media/NL/Pulmo\\_Project\\_Afmetingen\\_Dimensions.pdf](http://www.aeropulmo.be/Media/NL/Pulmo_Project_Afmetingen_Dimensions.pdf). [Geopend  
] 13 mei 2015].
- [1 „nieuwe technische brochure,” Codumé, [Online]. Available:

- 5] [http://www.codume.eu/pdf/nl/Nieuwe\\_techische\\_brochure.pdf](http://www.codume.eu/pdf/nl/Nieuwe_techische_brochure.pdf). [Geopend 13 mei 2015].
- [1 „Gezondheid.be,” Februari 2013. [Online]. Available:
- 6] [http://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art\\_id=13384](http://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=13384). [Geopend 29 mei 2015].
- [1 „Integrated Building Automation,” GmbH, beckhoff Automation, [Online]. Available:
- 7] [ftp://ftp.beckhoff.com/Document/Catalog/Building\\_Automation\\_2012\\_e.pdf](ftp://ftp.beckhoff.com/Document/Catalog/Building_Automation_2012_e.pdf). [Geopend 13 mei 2015].
- [1 „Siemens EN15232,” [Online]. Available: <http://www.en-do.be/files/VALID%20workshop%205/1%20Siemens.pdf>. [Geopend 15 05 2015].
- [1 „Beckhoff information system,” GmbH, beckhoff Automation, [Online]. Available:
- 9] [http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=..%2Fcontent%2F1033%2Fbc9191%2Fhtml%2FBt\\_BC9191\\_SetpointRoom.htm&id](http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=..%2Fcontent%2F1033%2Fbc9191%2Fhtml%2FBt_BC9191_SetpointRoom.htm&id). [Geopend 13 mei 2015].
- [2 „Micropelt iTRV booklet,” Micropelt GmbH, [Online]. Available:
- 0] [http://www.micropelt.com/downloads/itriv\\_booklet.pdf](http://www.micropelt.com/downloads/itriv_booklet.pdf). [Geopend 13 mei 2015].
- [2 „iTRV user guide,” Micropelt, 6 mei 2015. [Online]. [Geopend 13 mei 2015].
- 1]
- [2 „Luxomat PD2N gebruikshandleiding,” [Online]. Available:
- 2] [http://www.luxomat.com/nl/pdf/nl/ba/MAN\\_4161\\_PD2N-LTMS-DE%E2%80%93NL%E2%80%93070314%E2%80%933.pdf](http://www.luxomat.com/nl/pdf/nl/ba/MAN_4161_PD2N-LTMS-DE%E2%80%93NL%E2%80%93070314%E2%80%933.pdf). [Geopend 15 05 2015].
- [2 B. v. Normalisatie, NBN EN 15232, 2012.
- 3]
- [2 „Verlichtingsnorm EN12464,” [Online]. Available:
- 4] <http://www.ergonomiesite.be/arbeid/en12464.htm>. [Geopend 15 05 2015].
- [2 „Msensor handleiding,” [Online]. Available:
- 5] [http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/DALI\\_MSsensor02\\_ProductManual\\_en.pdf](http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/DALI_MSsensor02_ProductManual_en.pdf). [Geopend 02 06 2015].
- [2 „Osram Dali FAQ,” [Online]. Available:
- 6] <https://www.osram.com/media/resource/HIRES/333539/2037986/osram-dali-pro---faq.pdf>. [Geopend 15 05 2015].
- [2 „CNS product pagina,” [Online]. Available: [http://www.control-network-solutions.co.uk/?page\\_id=370](http://www.control-network-solutions.co.uk/?page_id=370). [Geopend 01 06 2015].
- 7]
- [2 [Online]. Available:
- 8] [http://www.lighting.philips.nl/connect/ledsignalen/ledsignalen\\_mei\\_2011\\_question.wpd](http://www.lighting.philips.nl/connect/ledsignalen/ledsignalen_mei_2011_question.wpd). [Geopend 15 05 2015].
- [2 „Beckhoff BC9191 info-sys,” [Online]. Available:
- 9] [http://www.beckhoff.com/english.asp?bus\\_terminal/bc9191.htm](http://www.beckhoff.com/english.asp?bus_terminal/bc9191.htm). [Geopend 15 05 2015].
- [3 „Sparkfun,” [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/using-the-arduino-pro>

0] mini-33v. [Geopend 13 mei 2015].

[3 K. Brazier, „Wikimedia Commons, the free media repository,” 11 januari 2008. [Online].

1] Available: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoelectric\\_Generator\\_Diagram.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoelectric_Generator_Diagram.svg).  
[Geopend 13 mei 2015].

[3 „TA adapter M28 - M30,” [Online]. Available: <https://ao.dk/ta-adapter-m28-m30-403449530>.

2] [Geopend 13 mei 2015].

[3 „ASUE,” [Online]. Available: <http://www.asue.de/themen/index.html>. [Geopend 14 05 2015].

3]

[3 A. Homepage. [Online]. Available: <http://www.arduino.cc>. [Geopend 28 05 2015].

4]

[3 „Arduino webshop reichelt,” [Online]. Available: <https://www.reichelt.de/Programmer->

5] Entwicklungstools/ARDUINO-

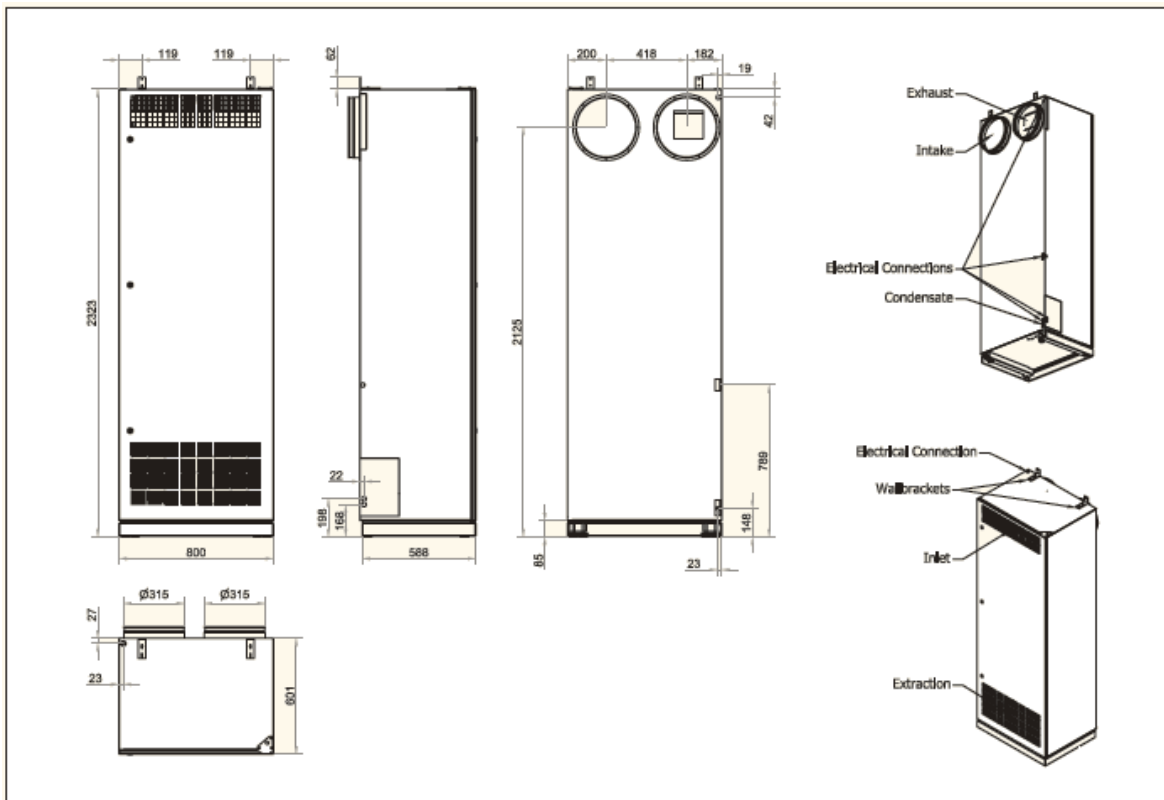
NANO/3/index.html?ACTION=3&GROUPID=2969&ARTICLE=142943&OFFSET=16&SID=14VSNz9  
qwQATYAAEtq2o44adcd894a4157770f11c61db78fa88fc&LANGUAGE=EN. [Geopend 27 05  
2015].

## VII. Bijlagen

### Bijlage 1:

#### TECHNICAL DATA

<b>Normal capacity, mixing</b>	690 m <sup>3</sup> /h at 30 dB(A)
	830 m <sup>3</sup> /h at 35 dB(A)
<b>Normal capacity, displacement</b>	650 m <sup>3</sup> /h at 30 dB(A)
	800 m <sup>3</sup> /h at 35 dB(A)
<b>Mixing, throw (0.15 m/s)</b>	Adjustable grille, 1/1, 7 m v/ 830 m <sup>3</sup> /h
	Adjustable grille, 1/1, 6 m v/ 700 m <sup>3</sup> /h
	Adjustable grille, 2/3, 12 m v/ 850 m <sup>3</sup> /h
	Adjustable grille, 2/3, 9 m v/ 700 m <sup>3</sup> /h
	Adjustable grille, 1/2, 12 m v/ 700 m <sup>3</sup> /h
<b>Displacement, near zone (0.15 m/s)</b>	Near zone from fitting, approx. 1.5 m v/800 m <sup>3</sup> /h
	Near zone from fitting, approx. 1.2 m v/650 m <sup>3</sup> /h
<b>Electrical connection</b>	1 ~ 230 V, 50 Hz, N + PE
<b>Duct connection</b>	Ø315 mm
<b>Condensate drain</b>	Ø16 mm
<b>Weight</b>	180 kg
<b>Heat exchanger</b>	3 x countercurrent exchanger (plastic)
<b>Filter</b>	F5 standard, F7 option
<b>Colour</b>	RAL 9010 (white)
<b>Current</b>	1.8 A
<b>Supply cable</b>	1.5 mm <sup>2</sup>
<b>Max. power consumption</b>	240 W
<b>Leakage current</b>	≤ 6 mA

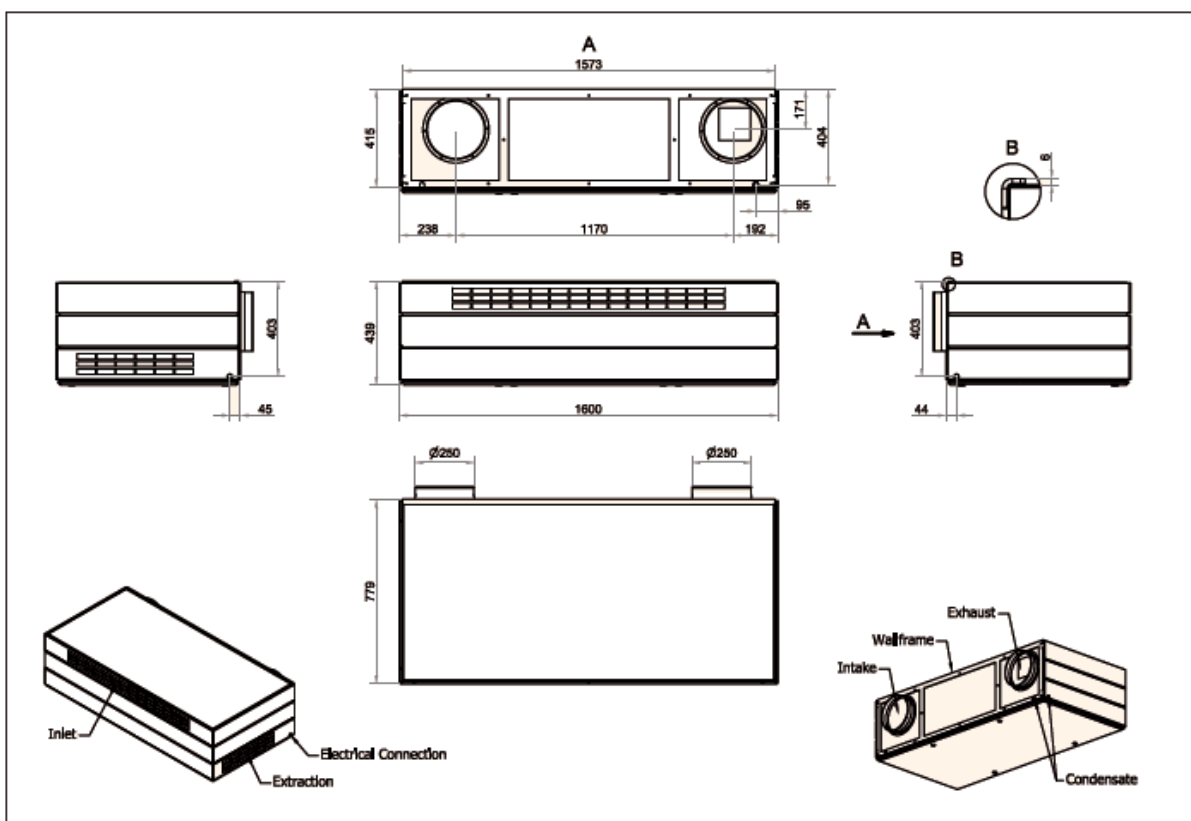




## Bijlage 2:

### TECHNICAL DATA

Max. capacity at 30 dB(A)	430 m <sup>3</sup> /h
Max. capacity at 35 dB(A)	550 m <sup>3</sup> /h
Throw (0,15 m/s)	5 m at 350 m <sup>3</sup> /h
	5.9 m at 450 m <sup>3</sup> /h
	7,5 m at 550 m <sup>3</sup> /h
Electrical connection	1 ~ 230 V + N + PE / 50 Hz
Duct connection	Ø250 mm
Condensate drain	Ø16 mm
Weight	123 kg
Heat exchanger	Countercurrent exchanger (alu)
Filter	F5 standard, F7 option
Colour	Panels RAL 9010 (white)
Current	1.1 A
Supply cable	1.5 mm <sup>2</sup>
Max. power consumption	132 W
Leakage current	≤ 6 mA



## Bijlage 3:

### overzicht van het effect van de geluidsterkte in een bepaalde situaties

#### Pijnlijk, schadelijk

Vuurwapens, sirenes, straaljager	140-70 dB
Startend vliegtuig op 50m afstand	140-170 dB
Autoradio's op vol volume	140 dB
Rockconcerten, luide passages tijdens klassiek concert	90-130 dB
Een massa schreeuwende kinderen	120 dB

#### Hinderlijk, kans op beschadiging

Draagbare radio's, walkman op vol volume	90-115 dB
Grasmaaiers en kettingzagen met benzinemotor	90-105 dB

#### Zeer luid

Elektrisch scheerapparaat, wekkeralarm, haardroger, stofzuiger en andere huishoudelijke apparatuur	70-85 dB
Rumoerige klas, schoolbus en speelplaats	70-85 dB

#### Matig

Normaal gesprek	60 dB
Regen	50 dB
Rustige kamer, kantoor	40 dB

#### Stil

Gefluister, tikkend uurwerk	30 dB
Leeszaal in een bibliotheek	20 dB
Vallend blad	10 dB

## Bijlage 4:

```
1. /* Sybren Vanheeswyck-Bjorn Es
2.    3de jaar Elektro-mechanica Klimatisering
3.    Temperatuur-Vochtigheid-CO2 PPM datalogger
4.    Opgepast: Het WIFI-netwerk "PXL-OPEN" is MAC-adress beveiligd.
5.    Om te verbinden met het WIFI-netwerk PXL-OPEN moet het MAC-
6.    adres toegevoegd worden aan de netwerk apparatuur.
7. */
8. #include "DHT.h"// Library voor temperatuur en vochtigheidssensor
9. DHT dht; // Initialiseer DHT sensor
10.
11. #include "MQ135.h"// Library voor MQ-135 CO2 sensor
12. MQ135 gasSensor = MQ135(A3);// Configureer poort waar de MQ135 zich bevindt
13. #define WIFInaam "PXL-OPEN"//Definieer met welk netwerk er verbonden moet worden
14. #define Paswoord ""//Definieer met welk paswoord er ingelogd moet worden
15. #define Site "emoncms.org"//Definieer met welke site er verbonden moet worden
16.
17. String GET1 = "GET /input/post.json?json={";
18. String GET2 = ":";
19. String GET2A = ",";
20. String GET3 = "}&apikey=6eddd8a987d50a8b71d49937c3067cf0 HTTP/1.1";
21. String GET4 = "\r\nHost: emoncms.org\r\nUser-Agent: ARDUINO-
    ESP8266\r\nConnection: close\r\n\r\n";
22. //Stukjes code om een juiste HTTP request te vormen
23.
24. int ResetPin = 13;//Definieer de pin om de ESP8266 resetten
25. void setup()
26. {
27.   Serial.begin(9800);//Open seriële communicatie tussen Arduino en computer
    debugging)
28.   pinMode(ResetPin, OUTPUT);//Definieer Resetpin als een output
29.   digitalWrite(ResetPin,HIGH);//Definieer de Resetpin hoog, ESP8266 in werk modus
30.
31.   dht.setup(10);//Definieer de pin waarop de DHT-sensor aangesloten is
32.   Serial.setTimeout(8000);//Definieer de tijd dat de Arduino wacht op antwoord
    van de ESP8266(enkel bij het gebruik van Serial.find)
33.   Serial.println("AT+CWMODE=1");//Stel de ESP8266 in als een standaard netwerk-
    gebruiker
34.   delay(2000);//Geef de ESP8266 2 seconden om zich in te stellen
35.   String cmd1="AT+CWJAP=\"";
36.   cmd1+=WIFInaam;
37.   cmd1+="\", \"";
38.   cmd1+=Paswoord;
39.   cmd1+="\"";
40.   Serial.println(cmd1);
41.   /* Genereer een string om te verbinden met het netwerk. Dit houdt in: "AT+CWJAP
    = "PXL-OPEN", ""
42.   We gebruiken hier "\" aangezien de Arduino IDE aanhalingstekens gebruikt om een
    string te definiëren en de ESP8266 aanhalingstekens gebruikt in commands*/
43.   delay(10000);//Wacht 10 seconden om de ESP8266 verbinding te laten maken met
    het netwerk
44. }
45. void loop()
46. { int Co2PPM1 = gasSensor.getPPM();
47.   int Co21RZERO = gasSensor.getRZero();
48.   delay(5000);
49.   int Co2PPM2 = gasSensor.getPPM();
50.   int Co22RZERO = gasSensor.getRZero();
51.   delay(5000);
52.   int Co2PPM3 = gasSensor.getPPM();
53.   int Co23RZERO = gasSensor.getRZero();
54.   delay(5000);
```

```

55. int Co2PPM4 = gasSensor.getPPM();
56. int Co24RZERO = gasSensor.getRZero();
57. delay(5000);
58. int Co2PPM5 = gasSensor.getPPM();
59. int Co25RZERO = gasSensor.getRZero();
60. unsigned int Co2PPMtot1 = Co2PPM1+Co2PPM2+Co2PPM3+Co2PPM4+Co2PPM5;
61. unsigned int Co2PPMGem = Co2PPMtot1 / 5;
62. /*Neem het gemiddelde van 5 metingen met een interval van 3 seconden. Stel dat
er veel beweging is in de ruimten of er wordt op de sensor geblazen, dan
wordt de meting sterk beïnvloed */
63. unsigned int Co2RZEROt看 = Co21RZERO+Co22RZERO+Co23RZERO+Co24RZERO+Co25RZERO;
64. unsigned int Co2RZEROGem = Co2RZEROt看 / 5;
65. // Om debugmogelijkheden hebben we er voor gekozen om Rzero ook te loggen op de
zelfde manier als de PPM
66. int Vocht = dht.getHumidity();
67. int Temp = dht.getTemperature();
68. //Lees de Vochtigheid en de temperatuur uit de dht sensor
69. String cmd2 = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
70. cmd2 += Site;
71. cmd2 += "\",80\"";
72. // Er moet een link geopend worden naar de website. Dit gebeurt door commando
AT+CIPSTART="TCP","Emoncms.org","80" te vormen.
73. Serial.println(cmd2); // We voeren het gevormde commando naar de ESP8266.
74. if (Serial.findUntil("Linked","Linked")) //Als de ESP8266 reageert met "Linked"
vervolgen we met de HTTP request.
75. {
76. String cmd3 = GET1;
77. cmd3 += "ESP1F108Temp";
78. cmd3 += GET2;
79. cmd3 += Temp;
80. cmd3 += GET2A;
81. cmd3 += "ESP1F108Vocht";
82. cmd3 += GET2;
83. cmd3 += Vocht;
84. cmd3 += GET2A;
85. cmd3 += "ESP1F108Co2PPM";
86. cmd3 += GET2;
87. cmd3 += Co2PPMGem;
88. cmd3 += GET2A;
89. cmd3 += "ESP1F108Co2RZERO";
90. cmd3 += GET2;
91. cmd3 += Co2RZEROGem;
92. cmd3 += GET3;
93. cmd3 += GET4;
94. Serial.print("AT+CIPSEND=");
95. Serial.println(cmd3.length());
96. /* We moeten de ESP8266 de HTTP request laten doen. De ESP8266 moet echter
weten hoe groot deze request is.
97. We doen dit door de HTTP request te vormen en het aantal karakters te tellen.
*/
98. if(Serial.find(">")) //Als alles goed verloopt verstuurd de EPS8266 een ">".
Wanneer de Arduino dit karakter ontvangt, post hij de gegevens.
99. {
100. Serial.print(cmd3);//Post de HTTP request.
101. if (Serial.find("Unlink"))
102. {}//Doe niets. Alles is in orde.
103. else
104. {
105. Serial.println("AT+RST");
106. /* We posten de gegevens op de Emoncms.org server. Wanneer deze gegevens
ontvangen worden reageert de server met "Unlink".
107. We hebben gemerkt dat de Emoncms.org server dit commando niet altijd
verstuurt, of de ESP8266 dit niet altijd ontvangt.
108. Dit is zeer ongemakkelijk aangezien de link naar de website open blijft en
er geen gegevens meer verzonden kunnen worden.
109. We lossen dit op door de ESP8266 softwarematig te resetten wanneer dit

```

```

|         gebeurt.
|110.     Bij andere IOT servers zoals ThingSpeak wordt er wel steeds een "unlink"
|111.     commando ontvangen.
|112.     Ons vermoeden gaat dus uit dat de Emoncms.org server nog niet geoptimali-
|113.     seerd is voor het gebruik met de ESP8266.
|114.     */
|115.     }
|116.     }
|117.     else
|118.     { // Er is geen "Linked" gevonden. Dit duidt op geen internet toegang, Emoncms.
|119.     org offline,...
|120.     digitalWrite(ResetPin,LOW);//Reset-
|121.     pin naar ground, hierdoor gaat de ESP8266 in "resetmodus".
|122.     Serial.println("Gereset");//Laat de Arduino "Gereset" over de Seriële
|123.     verbinding sturen (debugging).
|124.     delay(1000);
|125.     digitalWrite(ResetPin,HIGH);//Reset
|126.     pin naar 5V, hierdoor gaat de ESP8266 in "bedrijfsmodus".
|127.     delay(5000);//Wacht tot de ESP8266 opgestart is.
|128.     Serial.println("AT+CWMODE=1");
|129.
|130.     String cmd1="AT+CWJAP=\"";//Herverbind naar het wifi netwerk.
|131.     cmd1+=WIFInaam;
|132.     cmd1+="\","";
|133.     cmd1+=Paswoord;
|134.     cmd1+="\"";
|135.     Serial.println(cmd1);
|136. }}

```

