

# AERE

## **Masterthesis Productontwikkeling** Systeem voor optimale binnenluchtkwaliteit



## Dankwoord

Het hele traject heeft veel steun gehad van verscheidene personen.

Bijzondere dank gaat uit naar mijn academische promotor Luc Geuens, die heeft geholpen met de werking van het concept aan te tonen.

Verder wil ik mijn mentor, Linda Schelen, die me wekelijks bijstond tijdens de consultmomenten, bedanken.

Ook bedank ik Marc Daelemans, Luc Hens, Sarah Lebeer en Guido Van Velthoven voor de kennis die ze met mij hebben gedeeld.

Robrecht Van Velthoven

# Inhoudstafel

## Voorwoord

## 1. Problematiek

## 2. Analyse

- 2.1 Onderzoek van het probleem
- 2.2 Normen en verplichtingen bij ventilatie
- 2.3 Bestaande relevante oplossingen
  - 2.3.1 Aandachtspunten
  - 2.3.2 Luchten vs verluchten
  - 2.3.3 Ventilatiesystemen
  - 2.3.4 Balansventilatie
  - 2.3.5 Lucht zuiveren
- 2.4 Botanische filters
  - 2.4.1 Werking
  - 2.4.2 Wetenschappelijk onderzoek
  - 2.4.3 Omgevingsfactoren
- 2.5 Volledige luchtzuivering met planten
- 2.6 Inkomende lucht zuiveren
- 2.7 Academisch onderzoek
  - 2.7.1 Vergelijkende studie
  - 2.7.2 Freundlich-vergelijking

## 3. Productidee

- 3.1 Omschrijving
- 3.2 Afbakening
- 3.3 Beoogde meerwaarde
- 3.4 Beoogde doelgroep
- 3.5 Economische analyse
- 3.6 Specificaties op idee-niveau

## 4. Systeemontwerp

- 4.1 Ventilatiesysteem
- 4.2 Verwarming
- 4.3 Vormbepalende aspecten
- 4.4 Concepten

## 5. Productontwerp

- 5.1 Opbouw verschillende units
- 5.2 berekening specificaties voor wateroplosbare polluenten
- 5.3 berekening specificaties voor niet- wateroplosbare polluenten
- 5.4 Specificaties voor ventilatie
- 5.5 Specificaties voor de filtering
- 5.6 Instellingen
  - 5.6.1 De continue filtering met CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatie
  - 5.6.2 Daggestuurde filtering met CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatie
- 5.7 Beslissingspatroon
  - 5.7.1 Ventilatie en filtering
  - 5.7.2 Temperatuur en verwarming
- 5.8 Sensoren en indicaties
  - 5.8.1 Vochtigheidsgehalte in het filterbed
  - 5.8.2 Waterniveau in de hydrocultuur
  - 5.8.3 Temperatuursensor voor binnen- en buitentemperatuur
  - 5.8.4 CO<sub>2</sub>-sensor
  - 5.8.5 De luchtvochtigheidsensor

## 5.8.6 Fasekoppelaar / netfilter

5.9 Materiaalkeuzes

5.10 De master-unit

5.11 Planten

5.12 Aanvoerbuis

5.13 Filters

5.14 Ventilatoren en geluidsisolatie

5.15 Vormstudie

## 6. Eindproduct

### 6.1 AERE-1

6.1.1 Installatie

6.1.2 Gebruik

6.1.3 Onderhoud

6.1.4 Werking

6.1.5 Afmetingen

6.1.6 Exploded view

### 6.2 AERE-2

6.2.1 Installatie

6.2.2 Gebruik

6.2.3 Onderhoud

6.2.4 Werking

6.2.5 Afmetingen

6.2.6 Exploded views

### 6.3 AERE-3

6.3.1 Installatie

6.3.2 Gebruik

6.3.3 Onderhoud

6.3.4 Werking

6.3.5 Afmetingen

6.2.6 Exploded views

### 6.4 Display master-unit

6.4.1 Hoofd-display

6.4.2 Functies

## 7. Freedom to operate

Bronnen

Lijst met figuren

Bijlagen

## Voorwoord

Deze masterproef is het resultaat van de twee opleidingsonderdelen New Products Planning en Integrated Product Design. In dit dossier is een deel van het afgelegde traject te zien en het resulterende product.

Bij de masterproef is Linda Scheelen opgetreden als mentor en Luc Geuens van Kdg Hoboken als academische promotor.

Het project behandelt de problematiek van onze binnenluchtkwaliteit en het onderzoek naar een goede oplossing.

# 1. Problematiek

Toekomstgericht wil men beter omgaan met energie, hierdoor worden onze huizen altijd maar beter geïsoleerd om warmteverlies te beperken. Door deze ingreep verslechtert echter ons binnenmilieu. De kwaliteit van de lucht in onze leefruimtes gaat hierdoor sterk achteruit. Al de kunststoffen, verbrandingsgassen van verwarmingstoestellen, onderhoudsproducten, schimmels en moderne bouwmaterialen in onze huizen geven schadelijke stoffen af aan de lucht. Heel wat studies hebben aangetoond dat de binnenlucht vaak twee keer meer vervuild is dan de buitenlucht. Deze vaststelling is nog zorgwekkender als we bedenken dat de Europeanen met hun huidige levensstijl tot 90 % van hun tijd binnenshuis doorbrengen. (eutrio, 2010)

Mensen kennen de ernst van het probleem niet. Maar een slecht binnenklimaat kan zware impact hebben op de gezondheid. Zo vindt Marc Bishop (2009) van het John Hopkins research center for childhood asthma het schandalig dat er nog steeds zo weinig rond luchtkwaliteit in huis wordt gedaan. Hij verwijst naar onderzoeken die een rechtstreeks verband aantonen tussen de stijging in astmatische symptomen en lucht vervuilende deeltjes in huizen. Er zijn enorm veel onderzoeken geweest in Amerika die aantonen dat de binnenlucht in scholen schadelijk is voor de kinderen. Uit één van die tests blijkt dat zeker de helft van 115.000 nationale scholen waar de binnenlucht getest werd, een slechte luchtkwaliteit had. (pollutioncontrol, 2009) Dit was een grote oorzaak van ziekte bij de kinderen. Verder veroorzaakt een slecht binnenmilieu naast ziektes ook concentratieverlies bij werknemers en studenten, vermoeidheid, hoofdpijn, geïrriteerde ogen, verergering van hart- en vaatziekten, enzovoort. Dit blijkt uit onderzoek van het Nederlandse rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. (Jongeneel, 2010)

Steeds meer worden materialen waarvan men weet dat ze ongezonde polluenten uitscheiden, vermeden voor toepassingen in huis. Ook worden pogingen gedaan om de problematiek bekend te maken aan een groter publiek. Zo worden mensen aangemoedigd om voldoende te verluchten. Maar dit wordt over het algemeen in de praktijk nog steeds te weinig gedaan.

## 2. Analyse

### 2.1 Onderzoek van het probleem

Vito is een bedrijf dat in België veel onderzoek heeft gedaan naar luchtkwaliteit in onze leefomgeving. Eén van die onderzoeken is BiBa (2009-2010): BiBa, afkorting voor "Binnenlucht in Basisscholen", toont aan dat het binnenmilieu niet gezond is en dat er te weinig geventileerd wordt. Het onderzoek werd gericht op stoffen die als belangrijk beschouwd worden vanuit gezondheidsoogpunt. Er werd onderzoek gedaan in klaslokalen en op de speelplaatsen van 90 scholen.

Hier volgen enkele feiten:

- De belangrijkste knelpunten binnen de luchtkwaliteit in de klaslokalen van de

basisscholen zijn **fijn stof, formaldehyde, totaal andere aldehydes, benzeen (ook een VOS), totaal vluchtige organische stoffen (TVOS) en co2.**

- Het was duidelijk dat de hoeveelheid schadelijke stoffen binnen groter was dan de concentratie buiten.
- Er was geen significant verschil tussen binnenlucht in landelijke en stedelijke omgeving.
- Voor bijna alle polluenten geldt: hoe meer ventilatie, hoe minder polluenten in de klassen.

In volgende tabel is te zien welke stoffen getest werden, de gezondheidseffecten die deze stoffen op de mens heeft en de uiterste normen en richtwaarden voor de binnenlucht in Vlaanderen. Als we deze vergelijken met de resultaten in Fig. 2, valt op dat er veel normen worden overschreden.

Component	Gezondheidseffecten	Normen en richtlijnen binnenlucht Vlaanderen
CO <sub>2</sub>	sick building syndrome, afname concentratie, vermoeidheid	< 900 µg.m <sup>-3</sup>
PM <sub>1-2,5-10</sub> (fijn stof)	acut: astma en allergie, cardiovasculaire aandoeningen chronisch: cardiopulmonale aandoeningen, longkanker	PM <sub>2,5</sub> ≤ 15 µg.m <sup>-3</sup> Jaargemiddelde PM <sub>10</sub> ≤ 40 µg.m <sup>-3</sup> 24uur-gemiddelde
BTEX (benzeen & toluen)	leukemie, neurotoxische vermoeidheid, astmatische symptomen	benzeen ≤ 2 µg.m <sup>-3</sup> interventiewaarde 10 µg.m <sup>-3</sup> tolueen ≤ 200 µg.m <sup>-3</sup>
TVOS (totaal vluchtige organische stoffen)	sick building syndrome, astmatische symptomen	TVOS ≤ 200 µg.m <sup>-3</sup>
Formaldehyde (CH <sub>2</sub> O)	acut: ademhalingsproblemen, irritatie luchtwegen chronisch: carcinogeen (cat. 1)	≤ 10 µg.m <sup>-3</sup> 30 minuten gemiddelde interventiewaarde 100 µg.m <sup>-3</sup>
Acetaldehyde (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)	acut: ademhalingsproblemen chronische: carcinogeen (cat. 2B)	≤ 4600 µg.m <sup>-3</sup>
1,2,4 trimethylbenzeen	acut: irritatie, hoofdpijn chronisch: neurotoxisch, astma, bloedarmoede	≤ 100 mg.m <sup>-3</sup>
MTBE	acut: neurotoxisch, irriterend, ademhalingsstoornissen chronisch: leveraandoeningen	≤ 146 mg.m <sup>-3</sup>
tetrachloroethen	acut: leveraandoeningen chronisch: neurotoxisch, carcinogeen	≤ 100 µg.m <sup>-3</sup>

Fig. 1: gedetecteerde stoffen, gezondheidseffecten en normen en richtlijnen

<i>eenheden</i>	<i>N</i>	<i>Mediaan</i> <i>µg/m³</i>	<i>gemiddeld</i> <i>µg/m³</i>	<i>Stdev</i> <i>µg/m³</i>	<i>min</i> <i>µg/m³</i>	<i>max</i> <i>µg/m³</i>
<b>binnenlucht in klaslokalen</b>						
MTBE	90	0.23	0.36	0.46	0.02	3.2
Benzeen	90	1.12	1.41	0.88	0.44	4.0
Tolueen	90	3.25	4.49	4.82	0.91	40.5
Tetrachlooretheen	90	0.20	0.37	0.44	0.06	2.2
Ethylbenzeen	90	0.75	1.74	4.36	0.17	36
Xylenen	90	3.18	7.67	22.3	0.81	193
1,2,4-Trimethylbenzeen	90	1.21	5.30	19.9	0.34	178
TVOS	90	201	238	164	18	1126
Formaldehyde	90	23	26	13	6.3	71
Acetaldehyde	90	5.14	5.40	1.84	2.2	12
Total andere aldehydes	90	31	33	15	8.7	78
PM 2.5	88	25	29	15	6.6	80
<b>buitenlucht straatkant</b>						
MTBE	30	0.20	0.29	0.25	0.02	1.14
Benzeen	30	1.35	1.39	0.73	0.53	3.63
Tolueen	30	2.42	2.67	1.66	0.76	8.10
Tetrachlooretheen	30	0.16	0.24	0.21	0.05	0.80
Ethylbenzeen	30	0.45	0.50	0.31	0.12	1.32
Xylenen	30	1.91	2.28	1.59	0.44	6.77
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0.61	0.67	0.35	0.17	1.66
TVOS	30	153	145	56	22	259
Formaldehyde	30	5.1	7.9	8.5	3.2	41.6
Acetaldehyde	30	1.8	1.8	0.7	0.9	4.6
Total andere aldehydes	30	6.9	11.1	9.5	4.0	43.2
<b>buitenlucht speelplaats</b>						
MTBE	30	0.17	0.25	0.26	0.02	1.20
Benzeen	30	1.16	1.31	0.76	0.48	3.57
Tolueen	30	2.11	2.36	1.67	0.68	8.42
Tetrachlooretheen	30	0.17	0.24	0.21	0.06	0.76
Ethylbenzeen	30	0.35	0.45	0.32	0.13	1.19
Xylenen	30	1.33	1.97	1.52	0.48	6.36
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0.43	0.51	0.30	0.19	1.57
TVOS	30	149	148	52	21	264
Formaldehyde	30	4.7	9.5	17.8	0.9	100
Acetaldehyde	30	1.7	1.9	0.7	1.1	3.4
totaal andere aldehydes	30	6.3	12.6	18.2	2.0	103
<b>PM 2.5*</b>	26	23.5	23.2	13.9	4.1	59.5

Fig. 2: concentraties vos, aldehydes en fijn stof in de binnenlucht en buitenlucht BiBa-scholen

De stoffen die eerder werden aangehaald als knelpunten zijn duidelijk zwaar aanwezig in de klaslokalen. Zo overschrijdt de gemiddelde hoeveelheid totaal vluchtige organische stoffen de Vlaamse norm met 19%. En in het slechtste geval overschrijdt hij deze met 463%. Voor de andere knelpunten gelden dergelijke explosieve percentages ook.

Uit een andere meetcampagne van het VITO, namelijk de TOVO-meetcampagne zijn de meetresultaten een duidelijk bewijs dat het binnenshuis nog slechter gesteld is met ons binnenmilieu. Om het zelfde voorbeeld te geven, overschrijdt de gemiddelde hoeveelheid TVOS de Vlaamse norm met 71,5%. Met een maximale overschreiding van 1346%. Hier blijken het dezelfde stoffen te zijn als in de klaslokalen die de normen zwaar overschreiden. In deze campagne

werd CO2 niet gemeten, dus daar kan geen besluit rond geformuleerd worden.

Er bleken geen grote verschillen in de concentraties in scholen ten opzichte van woningen te zijn. Het VITO concludeerde dat de bijdrage van de blootstelling in scholen tot de totale blootstelling kleiner is dan deze in woningen, omdat de kinderen meer tijd doorbrengen thuis dan in school.



	BiBa-scholen (30 scholen x 3 klaslokalen)				90 woningen in Vlaanderen (metingen uitgevoerd in 2008)			
	gemiddeld	minimum	mediaan	maximum	gemiddeld	minimum	mediaan	maximum
MTBE	0.4	0.0	0.2	3.2	2.3	0.0	0.38	55
Benzeen	1.4	0.4	1.1	4.0	1.5	0.2	0.83	24
Tolueen	4.5	0.9	3.2	40	9.6	1.7	5.3	104
Tetrachloor- etheen	0.4	0.1	0.2	2.2	0.3	0.0	0.126	3
Ethylbenzeen	1.7	0.2	0.8	36	1.1	0.2	0.57	8
Xylenen	7.7	0.8	3.2	193	4.4	0.7	2.02	31
1,2,4Trimethyl- benzeen	5.3	0.3	1.2	178	2.8	0.3	1.18	28
TVOS	238	18	201	1126	343	39	260	2892
formaldehyde	26	6.3	23	71	24	4.4	21	63
acetaldehyde	5.4	2.2	5.1	11.7	6.9	0.7	5.8	29
totaal aldehydes	33	8.7	31	78	50	15	46	128

Fig. 3: vergelijking binnenluchtconcentraties VOS in BiBa-scholen versus binnenluchtconcentraties in woningen in Vlaanderen

## 2.2 Normen en verplichtingen bij ventilatie

Als we spreken van een goede kwaliteit van de binnenlucht houdt dat in dat de lucht binnenshuis zowel op niveau van comfort als op niveau van gezondheid aan bepaalde eigenschappen voldoet.

Deze eigenschappen zijn de volgende:

- Een comfortabele temperatuur:  
Deze temperatuur is persoonsafhankelijk, afhankelijk van de activiteiten, seizoenen en verblijfsruimten. Gemiddeld beschouwen we een temperatuur van 19 à 22°C in de winter en een temperatuur van 22 à 26°C in de zomer als een comfortabele temperatuur voor leefruimten. In ruimten zoals gang, toilet en eventueel ook de slaapkamer kan een temperatuur van 15°C in de winter volstaan.
- Een aangenaam vochtgehalte:  
De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid dient 40 à 60% te bedragen.
- Goede chemische samenstelling:  
De chemische samenstelling van normale omgevingslucht bestaat voor ongeveer 78% uit stikstof (N<sub>2</sub>), voor ongeveer 21% uit zuurstof (O<sub>2</sub>) en uit een restfractie van voornamelijk argon (Ar), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), neon (Ne) en helium (He). Afwijkingen op deze samenstelling kunnen hinderlijk of schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid.
- Vrij van chemische, fysische of biologische verontreiniging

Hoeveel lucht verversd moet worden in een kamer is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste factoren zijn:

- aantal aanwezige personen
- aard van de activiteiten (sporten, schilderen, slapen,...)
- afmetingen van de kamer
- hoeveelheid en aard van de verontreiniging (zowel afkomstig van binnen- als buitenlucht)
- buitenklimaat
- hygiënisch onderhoud

De norm NBN D50-001 die beschouwd dient te worden als code van goed praktijk, schrijft een verversing van 3,6 m<sup>3</sup> lucht per uur per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte voor. Hierbij gelden een aantal bijzondere voorwaarden:

- woonkamers:  
debiet minimaal 75 m<sup>3</sup>/u (woonkamers < 21 m<sup>2</sup>) en mag beperkt worden tot 150 m<sup>3</sup>/u (woonkamers > 42 m<sup>2</sup>)
- slaap-, studeer-, hobbykamers:  
debiet minimaal 25 m<sup>3</sup>/u (kamers < 7 m<sup>2</sup>) en mag beperkt worden tot 36 m<sup>3</sup>/u,pp
- gesloten keukens, badkamers:  
debiet minimaal 50 m<sup>3</sup>/u (natte ruimten < 14 m<sup>2</sup>) en mag beperkt worden tot 75 m<sup>3</sup>/u (natte ruimten > 21 m<sup>2</sup>)
- open keukens:  
debiet minimaal 75 m<sup>3</sup>/u (keukens < 21 m<sup>2</sup>)
- toilet:  
debiet 25 m<sup>3</sup>/u (toiletten < 7m<sup>2</sup>)

## 2.3 Bestaande relevante oplossingen

Conform een Europese richtlijn is in Vlaanderen sinds 1 januari 2006 de energieprestatie regeling van kracht gegaan: voor gebouwen waarvoor men een stedenbouwkundige vergunningsaanvraag indient, gelden eisen met betrekking tot de energieprestatie en het binnenklimaat. (Oude huizen en kantoren vallen nog niet onder deze normen en zijn vaak niet in orde met hun binnenklimaat.) Voor nieuwbouw, herbouw en ontmanteling is het voortaan verplicht ventilatievoorzieningen te plaatsen volgens deze Vlaamse wetgeving.

Hier volgt een samenvatting van alle soorten ventilatievoorzieningen en basisprincipes voor ventileren zoals voorgesteld op batibouw 2012:

### 2.3.1 Aandachtspunten

1. Beperk zoveel mogelijk de vochtproductie binnen in de woning.
2. Voer de ontstane damp zo snel mogelijk af naar buiten.
3. Vermijd dat de damp zich door de woning kan verspreiden, vooral van warme plaatsen naar koude (want dan kan de damp condenseren op de koudere muren).
4. Zorg voor een kleine maar constante ventilatie in de plaatsen op het ogenblik dat er personen aanwezig zijn.
5. Bij vochtig of zeer koud weer mogen de bewoonde vertrekken niet te sterk afkoelen, een kleine continue verwarming is wenselijk.

### 2.3.2 Luchten vs verluchten

**Luchten:** ramen of deuren wijd open zetten om snel een grote hoeveelheid lucht af te voeren. Bijv. tijdens het poetsen of na het verven. **Verluchten:** is een constant en gecontroleerd proces van af- en aanvoer van lucht. Dit door ramen op een kier te zetten of het gebruik van ventilatieroosters.

Ventileren moet dus gecontroleerd verlopen. In de optimale situatie wordt verse lucht toegevoerd in de droge ruimtes en weer afgevoerd via de natte ruimtes (badkamer, toilet,...). Hierbij dient gestreefd te worden naar een optimale luchtdoorvoer in de hele woning.

## 2.3.3 Ventilatiesystemen

### Natuurlijke ventilatie

Verluchttingsroosters in ramen, deuren of buitenmuren voeren de verse lucht aan. De onzuivere lucht wordt via een schoorsteen afgevoerd.

- installatie goedkoper dan mechanische ventilatie
- aanvoer van lucht moeilijk te regelen

### Mechanische ventilatie

- ventilator zuigt onzuivere lucht af en voert verse lucht aan
- warmte uit afgezogen lucht kan gerecupereerd worden
- efficiënter dan natuurlijke ventilatie en beter te regelen
- regelmatig onderhoud nodig !  
kanalensysteem vraagt de nodige plaats

Deze twee principes kunnen ook gecombineerd worden met elkaar, variërend van minder geautomatiseerd tot volledig automatisch.

### Systeem A

- eenvoudigste en goedkoopste
- toevoer via regelbare ventilatieroosters (regelbaar: 'open' tot 'gesloten')
- zelfregelende ventilatieroosters geven constante aanvoer en voorkomen tochtgevoel
- toevoer via droge ruimtes (slaapkamer, woonkamer,...)
- luchtcirculatie via deurroosters of muuropeningen
- afvoer via de natte ruimtes (badkamer, wasplaats,...)
- lucht via schoorsteen of ventilatiekanaal afgevoerd
- natuurlijke ventilatie vereist grotere secties in de schouwkanalen, wat resulteert in meer plaatsverlies

## Systeem B

Wanneer natuurlijke toevoer van lucht niet mogelijk is bijv. lawaaijige buitenomgeving, geurproblemen,... kan een mechanische aanvoer van lucht een oplossing bieden.

- gecontroleerde mechanische aanvoer
  - natuurlijke afvoer
  - toevoeropeningen kunnen op een gewenst debiet worden ingesteld
- => bijna nooit gebruikt in praktijk door mogelijke overdruk

## Systeem C

- gecontroleerde mechanische afvoer
  - niet volledig natuurlijke aanvoer
- => De mechanische afzuiging heeft immers een invloed op de luchttoevoerdebietten.
- => Het gevaar met systeem C is dat het in de praktijk niet goed gebruikt wordt. Mensen sluiten vaak de verluchtingsroosters af omdat deze koude lucht binnen laten, wat vanzelfsprekend negatieve resultaten voor de binnenlucht tot gevolg heeft.

## Systeem D

- zowel gecontroleerde mechanisch aanvoer als afvoer
- => De hoeveelheden lucht die worden aan- en afgevoerd kunnen worden afgestemd op de behoeften. Om de energieverliezen te beperken, kan je de warmte uit te afgezogen lucht recupereren om de verse lucht voor te verwarmen.

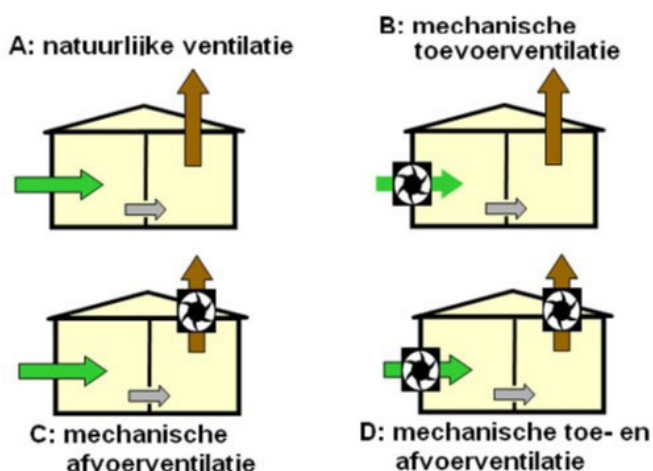


Fig. 4: ventilatietypes

## 2.3.4 Balansventilatie

Bij de klassieke ventilatiesystemen dreigt veel energie verloren te gaan door het afzuigen van verwarmde lucht. Dit kan je vermijden door het toepassen van een balansventilatie met warmterecuperatie.

- systeem D ventilatie
- aangevoerde koude lucht wordt opgewarmd door warmte afgevoerde lucht
- keuze van ventilatiekanalen en vraaggestuurd ventileren dragen bij tot beperkter energieverlies

Voorwaarden:

- zeer goede luchtdichtheid van het gebouw
- gebruik van ventilatoren met een laag elektrisch verbruik
- regelmatig onderhoud van het systeem
- deskundige uitvoering van de installatie
- het opstellen van een doordacht ventilatieplan
- kanalen isoleren indien installatieplaats niet vorstvrij is

Investeringskost:

Een volledig balansventilatiesysteem met planning en plaatsing kost voor de consument tussen 6000 en 8000 euro. Dit is de investeringskost die wordt aangegeven door Renson®, een grote marktspeler en trendzetter op het vlak van ventilatie en zonnewering.

Om deze systemen te voorzien van deftige filters moet men filterhouders (€ 120-250) installeren, en investeren in filters: fijn stoffilter: € 24, VOS- filter: € 30, actieve koolfilter: € 45; deze moeten bovendien om de 3 tot 6 maanden vervangen worden. Of men kan een katalytische filter (gedeeltelijke combinatie vorige filters)voorzien: € 55/2jaar; maar deze moet vaak gereinigd worden, wat in de praktijk niet goed gebeurt. (ITEC en my-electro)

	Mechanische ventilatie	Natuurlijke ventilatie
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- luchttemperatuur tot min. 15°C. =&gt;minder tochtklachten</li> <li>- hoeveelheid verse lucht gegarandeerd.</li> <li>- afgevoerde warmte mogelijk terug te winnen, mits extra ventilator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- minder kans op vervuiling</li> <li>- mogelijk afgevoerde warmte terug te winnen, mits extra warmtepomp</li> </ul>
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lucht kan vervuild worden doordat het apparaten en kanalen passeert</li> <li>- geluid van ventilators en luchtgeluid kunnen hinderen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoeveelheid lucht hangt af van winddruk of thermische trek.</li> <li>- lucht kan kouder zijn en tocht veroorzaken</li> </ul>

Fig. 5: voor- en nadelen verschillende types ventilatiesystemen

De eerder besproken systemen A, B, C en D hebben allemaal een zeker warmteverlies, wel in mindere mate als er gebruik wordt gemaakt van balansinstallatie-systemen. Maar deze systemen hebben ook hun nadelen: balansventilatie, klimaatregelaars en airconditioningsystemen met filters geven, voornamelijk als ze slecht onderhouden zijn, aanleiding tot allerlei ziekten en allergieën (het zogenaamde Sick building syndrome). Volgens Ipedubo (2008) zijn er nog kinderziekten bij balansventilatie. Aan de hand van technisch onderzoek is vastgesteld dat het systeem zeer gevoelig is voor installatiefouten. Een ondeugdelijke aanleg en onzorgvuldig onderhoud kunnen leiden tot onvoldoende luchtverversing en zelfs leiden tot verslechtering van de luchtkwaliteit.

### 2.3.5 Lucht zuiveren

De eerste stap om de binnenluchtkwaliteit te verbeteren is de bron aanpakken. Verschillende stoffen die vervuilende pollutanten loslaten moeten vermeden worden in het ontwerpen van meubilair en bouwmaterialen. Maar dit is enkel mogelijk voor de stoffen die gekend zijn en waarvan men de gezondheidseffecten kent. Nieuwe substanties worden voortdurend ontdekt en men vreest dat er nog vele schadelijke zullen ontdekt worden. (Guieysse, 2008) Een volgende belangrijke verbetering is het verhogen van de ventilatiegraad in de woningen. Zodat de lucht sneller ververst wordt. Maar periodiek lucht verversen is ook niet voldoende omdat sommige pollutanten op constante basis worden vrijgegeven.

Mechanische geforceerde ventilatie zal nodig zijn om de luchtkwaliteit te verbeteren. Enkel in systeem D is het mogelijk om de lucht die wordt aangevoerd op een gecontroleerde manier te filteren.

Zo wordt inkomende lucht onder andere gefilterd om stof uit de lucht te krijgen. Door middel van een G7 filter kan men al het fijn stof uit de buitenlucht halen. Maar dan moet de filter consequent vervangen worden. Dit soort filters kosten rond de 30 euro en moeten om de 3 tot 6 maanden vervangen worden. Als deze niet op tijd vervangen worden, zal dit negatieve gevolgen hebben voor de luchtkwaliteit en het systeem zelf. Een autonoom zelfonderhoudend systeem zou hier een goede verbetering zijn op vlak van gebruiksgemak en vermijden van gezondheidsrisico's.

Er zijn verscheidene methodes om de lucht te zuiveren die geïmplementeerd kunnen worden in ventilatiesystemen. Zo zijn er tal van systeemprincipes: filteren, ionisatie, actieve kool-absorptie, ozoneren en fotocatalysatie. Er zijn efficiënte methoden om partikels te verwijderen dankzij combinaties van filtratie en elektrostatische neerslag. Het is echter veel ingewikkelder om vluchtige organische stoffen te verwijderen. Zo luidt het besluit van een studie waarin verscheidene commerciële filters getest werden, dat er geen van de geteste systemen (HEPA-filter, electrostatische neerslag, ionisatie, ozoneren en droge actieve kool-absorptie) op significante wijze formaldehyde kon verwijderen. (Shaughnessy, 1994)

Uit een recente studie bleek dat er nog niet veel verbetering op de markt is sinds de vorige test. (Chen et al., 2005) Absorbtie filtratie, ultraviolet fotocatalytische oxidatie, ozonale oxidatie, ionisatie en een prototype van een botanische filter (een systeem waar de lucht door de wortelzone van een plant wordt geblazen, zodat de micro-organismen de vervuiling in de lucht kunnen verwijderen) werden getest op het verwijderen van 16 VOS'en uit de lucht. De botanische filter was het enige systeem dat goede resultaten behaalde voor het verwijderen van de vluchtige stoffen. Eén enkel systeem gebaseerd op actieve kool-absorptie, functioneerde voor bepaalde stoffen beter.

Actieve kool is een speciaal behandelde koolstof die de eigenschap heeft allerlei stoffen aan zich te kunnen binden. Het kenmerkt zich door het zeer grote oppervlak, een gram vaste stof kan een oppervlak hebben van enkele honderden vierkante meters dat bestaat uit grote en kleinere poriën. Hierdoor is het in staat de verschillende schadelijke stoffen van verschillende groottes aan zich te binden. In gewone ventilatiesystemen zitten er dan ook actieve koolfilters. Het nadeel is dat deze verzadigd geraken en vervangen moeten worden. Als de filter verzadigd is door grote polluenten zoals bijvoorbeeld stofdeeltjes, blijven de kleinere polluenten opgenomen worden in de kleine poriën tot deze ook verzadigd zijn. Een belangrijk voordeel bij het combineren van actieve kool en de botanische filter is dat de microscopische organismen rond de wortels de actieve kool zuiveren en regenereren en de polluenten omzetten in voedzame stoffen.

Men kan concluderen dat botanische filters veel mogelijkheden bieden, maar wel meer plaats innemen dan de andere systemen.

## 2.4 Botanische filters

### 2.4.1 Werking

Een mogelijke oplossing voor het probleem van ons binnenklimaat is het integreren van de biosfeer (planten) in de technosfeer (ventilatiesystemen). Het is reeds wetenschappelijk bewezen dat het plaatsen van planten in woonomgevingen doet de gezondheid van de bewoners toenemen met 30% en de productiviteit van bewoners van kantoorgebouwen verhoogt met 20%. (Vanderstadt, 2011)

Het idee en het onderzoek rond deze technologie begon bij Bill Wolverton (1989), professor bij de NASA die naar oplossingen zocht om ruimtecapsules leefbaar te maken en deze te vormen tot een autonome leefomgeving. Vanuit zijn kennis over het zuiveren van water door gebruik van planten, heeft hij enorm veel onderzoek gedaan naar luchtzuivering met planten. Zo zijn de bladeren, de wortels, de ondergrond en de micro-organismen van de planten geëvalueerd als mogelijke filter voor verontreinigingen in de lucht. Men ontdekte dat de eigenlijke zuivering gebeurt in de grondwortelzone van de plant en niet enkel door

de bladeren. De combinatie van potgrond en plantwortels zorgt voor een rijk bacteriënleven dat schadelijke stoffen uit de lucht kan afbreken. Wanneer de planten een week of zes in de vervuilde lucht hebben gestaan, hebben de bacteriën zich genetisch aangepast om de organische toxische stoffen met koolstofverbindingen als voedselbron te gebruiken. Het onderzoeksteam is ook nagegaan of de planten die de vervuilde lucht hebben afgebroken, op hun beurt geen omgezette chemicaliën (zogenaamde metabolieten) of pathogenische organismen afgeven aan de zuivere lucht. Hun conclusie was dat het concentratieniveau van metabolieten in de gezuiverde lucht volledig verwaarloosbaar is en er werden geen schadelijke organismen gevonden.

Door de studie is men tot een ontwerp gekomen dat efficiënt werkt bij het verwijderen van bepaalde polluenten uit de lucht. Het ontwerp is een combinatie van de plant met actieve koolstof zoals te zien is op de onderstaande afbeelding. In de loop van de jaren is dit systeemontwerp steeds geoptimaliseerd en zijn er ook enkele patenten op genomen.

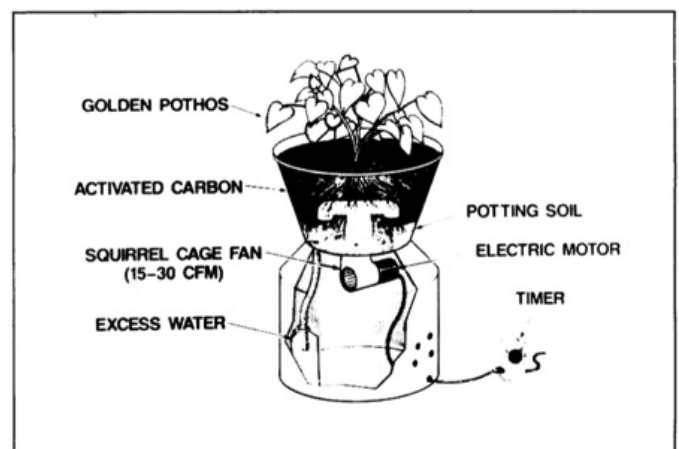


Fig. 6: binnenlucht zuiverend systeem met planten en actieve kool

De werking van het systeem wordt als volgt omschreven: door een ventilator worden grote hoeveelheden vervuilde lucht door de actieve koolstof geblazen, waar rook, fijn stof, organische chemicaliën en pathogenische micro-organismen worden opgenomen. De micro-organismen die leven in de wortelzone, breken de virussen, bacteriën en de chemische polluenten af en zetten deze om in voedsel. Op deze manier wordt de koolstof op een natuurlijke manier gezuiverd en ontstaat er een goed werkende cyclus. Door dit systeem wordt de zuiverende werking van

een plant drie keer beter. De organische stoffen worden het eenvoudigst en snelst verwerkt door de organismen. De micro-organismen metaboliseren de pollutanten zoals formaldehyde, maar ze nemen ze op via specifieke transporters in hun cel en breken deze dan af met speciale enzymen. De anorganische grotere deeltjes breken veel langzamer af wat tot een geleidelijke verzadiging kan leiden.

#### 2.4.2 Wetenschappelijk onderzoek

De resultaten van NASA's onderzoek geven aan dat het systeem enorm efficiënt de lucht kan filteren met betrekking tot bepaalde stoffen. Enkele voorbeelden zijn:

- Klimopplantjes halen 89,8% van het aanwezige benzeen uit de lucht.
- Een *Scindapsus* zuivert 73,2% van het aanwezige benzeen weg.
- Een *Dracaena* en een *Spathiphyllum* breken op 24 uur 27 microgram trichloorethyleen in de lucht af.
- Een *Philodendron* zuivert op 24 uur tijd bijna 10 microgram formaldehydegas weg,
- Een *Sansevieria* 31 microgram en een dwergpalm 76 microgram.

Naarmate de plant langer wordt blootgesteld aan dosissen van een vervuulende stof, wordt haar zuiverende werking groter voor deze stof. Na 6 weken lijkt ze op "kruissnelheid" te zijn. Voorbeeld: een *Aglanonema* verwijderde in het begin van een afgesloten kamerproef 47,6% van het benzeen uit de lucht van de kamer, na 6 weken 85,8%. Dankzij een natuurlijke overlevingsdrang en aanpassingsmogelijkheid kunnen de micro-organismen zich aanpassen aan de omgeving waar ze zich bevinden.

In de botanische filter zijn met behulp van DNA sampling 7 bacteriële soorten herkend: *Arthrobacter aurescens* TC1, *Arthrobacter oxydans*, *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* str. CTCB07, *Bacillus cereus*, *A. aurescens*, *Pseudomonas putida*, and *Bacillus* spp. Deze hebben elks hun specifieke eigenschappen, zo is bijvoorbeeld van *A. aurescens* TC1 bekend dat hij formaldehyde kan afbreken. Er is continu onderzoek naar micro-organismen en hun eigenschappen. Na verloop van tijd zal het mogelijk zijn de juiste organische gemeenschappen te vormen om de lucht

volledig te zuiveren. Zo vormt de botanische filter een uitbreidbaar systeem waarin de juiste micro-organismen met de nodige nutriënten bepaalde pollutanten kunnen zuiveren. (Guieysse, 2008)

De *Hedera Helix*, beter gekend als klimop, is één van de planten die de NASA onderzocht heeft naar zijn zuiverende werking en werd bevonden als één van de beste luchtzuiverende planten (Wolverton, 1989). Deze planten werden geselecteerd uit honderden efficiënte luchtzuiverende planten omwille van hun gemakkelijk onderhoud en grote wortelzone met de meeste microbiologische organismen wat resulteert in een betere zuivering. Deze plant verwijdert benzenen, toluenen, ethylbenzenen, formaldehyden, xylenen en andere luchtontzuiverheden.

Voor het zuiveren van de binnenlucht op de eerder besproken schadelijke stoffen kan per ruimte één plantenbak met ventilator en actief koolfilter met minstens 3 planten volstaan. Enkel voor de omzetting van CO<sub>2</sub> en het produceren van zuurstof zijn meerdere grote planten per persoon nodig, omdat deze processen niet op mechanische wijze versneld kunnen worden.

Voorzichtigheid bij het interpreteren van deze resultaten is geboden, hier zijn veel van de tests gedaan in labo-omgevingen. Deze tests hebben veeltegenwoordig gekregen in het verleden, maar deze sceptici hebben enkel de onderzoeksresultaten theoretisch tegengesproken. Verder onderzoek is zeker noodzakelijk.

NYSERDA (2010) onder andere heeft verder onderzoek gedaan naar het systeem van Wolverton:

- Ze hebben zowel gecontroleerde kamertests gedaan als realistische tests.
- De resultaten zijn verbazingwekkend goed. Het systeem blijkt enorm goed te werken om de gemeten vervuiling uit de lucht te zuiveren.
- Het systeem heeft ook een positief effect op de luchtvochtigheid in de ruimtes.
- Door cijfers uit het rapport naast deze van BiBa te plaatsen, kan je zien dat ze zelfs voldoen aan de zwaarste normen.

### 2.4.3 Omgevingsfactoren

De omgevingsfactoren die een goede werking van de botanische filter waarborgen, zijn de vochtigheid en de zuurtegraad van het substraat, het debiet waarmee lucht door het substraat komt en de omgevingstemperatuur.

Vochtigheid:

De vochtigheidsgraad heeft een effect op de SPE (single pass efficiëntie) van het substraat. Dit is getest door de SPE te meten van formaldehyde en toluen bij verschillende vochtigheidsgraden. (NYSERDA, 2010) Formaldehyde representeert de waterabsorbeerbare en toluen de niet-wateroplosbare pollutanten. Een vochtiger substraat resulteerde in een betere filtering van formaldehyde, maar een slechtere filtering van toluen. De vochtigheidsgraad voor een optimale werking lag tussen 5% en 32%.

Formaldehyde is een moeilijk absorbeerbaar element voor actieve kool of andere absorberende stoffen, omdat de moleculen van formaldehyde zo klein zijn dat de Van der Waalskracht tussen actieve kool en formaldehyde zeer klein is. Dankzij het toevoegen van water vormt er zich een waterfilter in het substraat dat de formaldehydedeeltjes absorbeert. De micro-organismen in deze waterlaag breken de formaldehyde vervolgens af.

Om de filter optimaal te gebruiken, is zuiver water nodig. Regenwater is een goede bron. Grondwater is ook een goede bron, maar om dit water te gebruiken zal er eerst een bodemonderzoek moeten gedaan worden. Dit water gebruiken is

daardoor zeer kostelijk. Een andere bron die kan gebruikt worden is de waterleiding. Leidingwater kan kalk bevatten wat negatieve gevolgen heeft voor de werking van de botanische filter. Het water kan aanleiding geven tot verstopping en fluctuaties in de zuurtegraad door de afzetting van het kalk in het substraat. Er zal moeten geïnvesteerd worden in een anti-kalkfilter op de leiding. Deze kost ligt lager dan de kost voor een grondwatersysteem.

Zuurtegraad:

De meeste micro-organismen in de wortelzone van planten functioneren het beste bij een neutrale zuurtegraad, tussen 7 en 8. Dit is ook het beste voor de plant. Er kan door middel van zuurtegraadregelaars ingespeeld worden op fluctuaties in de PH-waarde.

Debiet:

De snelheid waarmee lucht door het filterbed komt, heeft een grote invloed op de filterefficiëntie. Men heeft de SPE bij het verwijderen van formaldehyde en toluen getest op een botanische filter tegen verschillende debieten. (NYSERDA, 2010) In volgende figuur is een overzicht van de resultaten. Bij een lager debiet is de filterefficiëntie hoger dan bij een hoog debiet. Indien de filter meermaals de zelfde lucht kan filteren, levert een hoger debiet wel meer propere lucht op (CADR = clean air delivery rate). Indien de lucht één maal langs de filter passeert, is het voordeliger om een laag debiet te gebruiken.

Air flow (m <sup>3</sup> /h)	Pollutant Moisture level (VWC)	Formaldehyde		Toluene	
		High VWC (30±2%)	Low VWC (15±1%)	High VWC (30±2%)	Low VWC (15±1%)
250±10	CADR (m <sup>3</sup> /h)	266.9	253.7	247.9	232.4
	SPE (%)	98.7	93.8	91.7	85.9
600±15	CADR (m <sup>3</sup> /h)	582.4	581.7	529.1	436.7
	SPE (%)	94.4	94.3	85.8	70.7
930±20	CADR (m <sup>3</sup> /h)	698.1	731.8	759.7	492.0
	SPE (%)	69.0	73.2	77.2	50.1

Fig. 7: CADR en SPE voor formaldehyde en toluen filtering

Omgevingstemperatuur:

Kamerplanten hebben een temperatuur tussen 15 en 35° C nodig. De ideale omgevingstemperatuur voor een goede werking van de botanische filter ligt rond 22° C.

Planten- en bodemkeuze:

De plantenkeuze is ook van essentieel belang voor de goede werking van het systeem. In onderzoek van de NASA zijn verscheidene planten gevonden die een betere filtering bieden dan andere. Enkele van de best zuiverende planten zijn de Areca Palm, Bamboo Palm, Boston Fern, Dracaena, Dwarf Date Palm, English Ivy, Ficus Alii, Lady Palm, Peace Lilly, Rubber Plant, ... Dit zijn allemaal planten die kunnen leven op hydrocultuur, wat voor de botanische filter essentieel is.

Voor een filtersysteem moet een keuze gemaakt worden voor een plant die gekend is voor zijn zuiverende werking en efficiënt filterend microcultuur in de wortelzone. Ook moet er gekeken worden naar het onderhoudsgemak en de omgevingseigenschappen van de planten. Om de esthetische meerwaarde van het systeem te verhogen moet er ook gekeken worden naar het uiterlijk van de plant.



Fig. 8: Enkele goed zuiverende planten

Voor het substraat in het filterbed zijn gebakken kleikorrels ideaal. Ze zijn steriel en voorkomen zo schimmels, meeldauw en andere ziektes. (Artiflora, 2012)

## 2.5 Volledige luchtzuivering met planten

Uit de resultaten blijkt dat het mogelijk is om woningen volledig luchtdicht af te sluiten en de binnenlucht te zuiveren met planten. Alleen zo kunnen de balansventilatie en ook de andere

mechanische ventilatiesystemen vervangen worden. Op deze manier blijft de lucht in het huis circuleren en zal er een minimaal tot geen energieverlies zijn van warmte. Doordat CO<sub>2</sub> niet sneller gezuiverd kan worden, moeten er vier grote planten op schouderhoogte per persoon of 3 planten op schouderhoogte per 10 m<sup>2</sup> worden voorzien. Dit vergt heel wat ruimte en men moet hier van in het begin van het ontwerp van een huis rekening mee houden. Het gevolg is dat als je een ruimte van 100 m<sup>2</sup> luchtdicht wil afsluiten en wil zuiveren met planten, je minstens 7 m<sup>2</sup> moet vol zetten met planten.

Hier is een doelgroep voor, maar deze is zeer beperkt aangezien binnenruimte nu eenmaal te duur is. Een architect rekent voor de bouw van een gebouw per m<sup>2</sup> ongeveer 1250 euro excl. BTW kost. De ruimte binnen is met andere woorden veel te veel geld waard om deze vol te zetten met planten. De doelmarkt is te beperkt om een efficiënt systeem uit te werken. Om een binnenmilieu te verkrijgen met goede luchtkwaliteit, zal er dus extra lucht van buiten moeten aangebracht worden.

De buitenlucht is minder vervuild dan de binnenlucht, behalve enkele pollutanten waarvan de oorsprong buiten ligt. Zo blijkt uit het BiBa-rapport dat de belangrijkste factoren die van buiten komen de volgende zijn: MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xyleen, PM2.5 en TVOS. Verkeersdrukke vertoont ook een significant positief verband met binnenluchtconcentratie met PM2.5, benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen. Dit wil zeggen dat zeker in stedelijke gebieden de buitenlucht gefilterd dient te worden voor deze binnen gebracht wordt.

## 2.6 Inkomende lucht zuiveren

Het zou interessant zijn om de lucht die wordt binnengehaald te zuiveren via een botanische filter. Men zou een botanische filter kunnen implementeren in één van de bestaande ventilatiesystemen.

Als men de lucht die buiten wordt opgenomen, daar ook kan filteren, kan er binnenruimte bespaard blijven van extra installaties. Een mogelijkheid zou zijn om groendaken en gevelbegroeiing te gebruiken als filter van de buitenlucht. Groendaken zijn tegenwoordig door de gewestelijke stedenbouwkundige verordening



van hemelwater (2004) op veel plaatsen verplicht op platte daken, maar dienen enkel voor het bufferen van regenwater, zodat de rioleringen niet overbelast geraken. Dit is voor de bouwheer en de architect een grote kost die moet gedaan worden. Met uitzondering van de geringe isolatie die kan uitgespaard worden, de beveiliging van het dak tegen weersomstandigheden en de esthetische schoonheid van het dak heeft men hier verder geen grote voordelen aan. Het groendak is al noodzakelijk, maar hier kunnen zonder veel extra kosten, meer voordelen voor de bouwheer uit gehaald worden. Zo krijgt deze een autonoom zelfreinigende filter voor zijn lucht in huis.

Na onderzoek blijkt dat het implementeren van het groendak in het ventilatiesysteem mogelijk is, maar de omgevingsfactoren van het groendak kunnen niet volledig onder controle worden gehouden. De factoren temperatuur, vochtigheid en zuurtegraad beïnvloeden de zuiverende werking van de botanische filter en moeten dus onder controle gehouden worden, wat zeer moeilijk is in de open lucht.

## 2.7 Academisch onderzoek

Omwille van bepaalde onzekerheid in verband met de effectieve werking van de botanische filter is er een gedetailleerder academisch onderzoek nodig. Dit is verlopen met de hulp van professor Luc Geuens aan de Kdg Hogeschool te Hoboken.

Hier volgt het onderzoek dat in een latere ontwerpfasen zal helpen om de specificaties van de botanische luchtfilter vast te leggen. Het volume van het substraat (actieve kool en lavakorrels) waar de planten in groeien en de lucht wordt doorgestuurd, heeft een effect op de luchtzuivering. Het volume substraat dat nodig zal zijn voor een goede zuivering op VOC's in de lucht kan op enkele manieren berekend worden.

### 2.7.1 Vergelijkende studie

Het is mogelijk het nodige volume substraat te benaderen aan de hand van de gegevens uit het NYSERDA onderzoek. Dit is interessant indien dezelfde filterende capaciteit bekomen dient te worden als deze in het onderzoek. Het volume kan berekend worden aan de hand van de verblijftijd van de lucht in het substraat. De gegevens die hiervoor gebruikt worden zijn het debiet waarmee

de lucht door het substraat wordt geblazen (815 m<sup>3</sup>/h) en het volume van het substraat (0,216 m<sup>3</sup>). (NYSERDA)

volume (m<sup>3</sup>) / debiet (m<sup>3</sup>/s) = verblijftijd (s)

$$0,216 \text{ m}^3 / 815 \text{ m}^3/\text{h} = 2,6503 \times 10^{-4} \text{ h}$$

$$\Rightarrow 2,6503 \times 10^{-4} \times 3600 = 0,9541 \text{ s}$$

Het duurt 0,9541 seconden voor de lucht door het substraat is gepasseerd. In een woonkamer kan het debiet beperkt worden tot 150 m<sup>3</sup>/h. Met deze gegevens kan het volume substraat berekend worden dat nodig is voor het debiet in de woonkamer.

verblijftijd (h) x debiet (m<sup>3</sup>/h) = volume (m<sup>3</sup>)

$$2,6503 \times 10^{-4} \text{ h} \times 150 \text{ m}^3/\text{h} = 0,03975 \text{ m}^3$$

Het volume zou 0,03975 m<sup>3</sup> of 39,75 L moeten zijn om de zelfde resultaten te bekomen als in het onderzoek.

Het geeft een beeld over de volumes, maar de efficiëntie wordt hier nog niet mee aangeduid.

### 2.7.2 Freundlich-vergelijking

Een andere manier om het volume te bepalen, is door middel van de Freundlich vergelijking. Deze geeft de adsorptie-isotherm weer die een evenwicht illustreert van de adsorptiecapaciteit van een bepaalde adsorberende stof, zoals actieve kool bij een constante temperatuur, ten opzichte van de concentratie van het adsorbaat. Met andere woorden, het geeft de beladenheid aan van een adsorberende stof zoals bijvoorbeeld actieve kool.

$$X / M = K \times C_e^{1/n}$$

X = mg pollutant (mg)

M = g actieve kool (g)

X/M = de belading (mg/g)

C<sub>e</sub> = evenwichtsconcentratie (mg/L)

K en 1/n = Freundlich-constanten

FORMALDEHYDE:

Formaldehyde is een wateroplosbare stof en wordt heel moeilijk opgenomen door actieve kool. De resultaten in de test zijn voornamelijk te danken

aan de vochtigheid in het substraat.

Uit onderzoek (Rezaee, 2011) blijkt dat de constanten voor het adsorberen van formaldehyde op actieve kool de volgende zijn:

$$K = 61,2895$$

$$n = 2$$

Deze waarden zijn vastgesteld bij 25°C.

Hiermee kunnen enkele parameters bepaald worden:

Als voor de evenwichtsconstante een concentratie lager dan de norm (10 µg/m<sup>3</sup>) wordt genomen (vb. 5 µg/m<sup>3</sup>), kan de nodige hoeveelheid actieve kool berekend worden om deze concentratie over te houden na filtering. Als de hoeveelheid pollutant in de omgeving geweten is, kan zo berekend worden hoeveel actieve kool nodig is om het nodige evenwichtsconcentratie te behalen.

De norm is < 10 µg/m<sup>3</sup>. Voor mijn berekeningen stel ik de norm op 5 µg/m<sup>3</sup> = (5 x 10<sup>-3</sup>) mg/m<sup>3</sup> = (5 x 10<sup>-6</sup>) mg/L

$$X / M = 61,2895 \times (5 \times 10^{-6})^{1/2}$$

De belading = 0,137 mg pollutant per g actieve koolstof

Uit het onderzoek van het VITO blijkt dat de gemiddelde concentratie formaldehyde in ons binnenklimaat gelijk is aan 26 µg/m<sup>3</sup>. Dan kunnen we zo berekenen hoeveel actieve kool nodig is per tijdseenheid voor een bepaald debiet.

$$X = 26 \mu\text{g} = 0,026 \text{ mg}$$

$$X / M = 0,137 \text{ mg/g}$$

$$\Rightarrow M = 0,026 \text{ mg} / 0,137 \text{ mg/g} = 0,18978 \text{ g}$$

Er is 0,18978 g actieve kool nodig om 26 µg formaldehyde (26 µg voor en 5 µg na filter) op te nemen uit 1 m<sup>3</sup> lucht.

Voor een debiet van 150 m<sup>3</sup>/h geldt dan:

$$(0,026 - 0,005) \text{ mg/m}^3 \times 150 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 75,6 \text{ mg pollutant/dag opgenomen}$$

$$\Rightarrow 551,8 \text{ g actieve kool/dag nodig}$$

Hieruit kan worden afgeleid hoeveel actieve kool nodig zou zijn voor een bepaalde periode om de lucht met een gemiddelde formaldehydeconcentratie in een woonkamer te

zuiveren zodat er slechts een concentratie van 5 µg/m<sup>3</sup> formaldehyde in de lucht aanwezig is.

Met de vergelijking kan ook het nut van de biofilter aangetoond worden. Hiervoor gebruiken we de volgende resultaten uit het onderzoek van NYSERDA:

Bij de test werd gebruik gemaakt van een botanische filter in een realistische omgeving. Het substraat bevat 0,108 m<sup>3</sup> actieve kool => 460 kg/m<sup>3</sup> x 0,108 m<sup>3</sup> = 49,68 kg

$$\text{Debiet} = 815 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Beginconcentratie formaldehyde} = 20,879 \mu\text{g/m}^3 \text{ (= 17ppb)}$$

Na 300 dagen had de filter een constant filterend vermogen bereikt van 60% SPE voor formaldehyde.

Als slechts 60% van de formaldehydeweerhouden wordt door de filter, is de evenwichtsconcentratie 20,879 µg/m<sup>3</sup> x 40% = 8,35 µg/m<sup>3</sup> => 8,35 µg/m<sup>3</sup> = (8,35 x 10<sup>-6</sup>) mg/L

Dan geldt:

$$X / M = 61,2895 \times (8,35 \times 10^{-6})^{1/2}$$

$$X / M = 0,1771 \text{ mg/g}$$

Voor een debiet van 815 m<sup>3</sup>/h geldt dan:

hoeveelheid opgenomen formaldehyde x debiet x 24 h = hoeveelheid formaldehyde per dag

$$(0,020879 - 0,00835) \text{ mg/m}^3 \times 815 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 245,07 \text{ mg pollutant/dag}$$

$$\Rightarrow 1383,7944 \text{ g actieve kool/dag}$$

Conclusie: om 300 dagen met 60% filterefficiëntie (SPE: Single Pass Efficiency) formaldehyde uit de lucht te filteren heeft men (1,384 kg/d x 300 d =) 415,14 kg actieve kool nodig. Het cijfer ligt zo hoog omwille van het feit dat formaldehyde zeer slecht hecht op droge actieve kool. Dit komt omdat de moleculen van formaldehyde zeer klein en licht zijn zodat er bijna geen Van Der Waalskracht tussen formaldehyde en de actieve kool is. In de botanische filter wordt het substraat vochtig gemaakt, waardoor de formaldehyde opgenomen wordt door het water. In het water wordt de formaldehyde dan afgebroken door de micro-organismen.

In het dataprogramma 'Epi-web' is de bio-afbreekbaarheid van chemische stoffen terug te vinden. Deze voor formaldehyde zijn als volgt:

Totale biologische afbreekbaarheid: 92,07 %  
Totale adsorptie op micro-organismen: 0,34 %  
Totale afgifte: 0,00 %

Dit wil zeggen dat micro-organismen de formaldehyde voor 92 % omzetten in koolstofdioxide en water en dat slechts een verwaarloosbare hoeveelheid zich hecht op de celwand van de organismen. En ze laten niets van de formaldehyde terug vrij in de lucht.

Conclusie: de botanische filter is efficiënt in het verwijderen van wateroplosbare VOC's. Dit is echter niet te danken aan de actieve kool in het filterende substraat. In de testopstelling van NYSERDA was er 50 kg actieve kool aanwezig. Om dezelfde filterende werking te verkrijgen voor formaldehyde in een droge opstelling zou er 415 kg actieve kool nodig zijn. Het weerhouden van de formaldehyde gebeurt voornamelijk door het water dat in het substraat aanwezig is. De botanische filter werkt dus als een biotrickling filter.

Hierbij wordt een massa waar lucht doorgeblazen wordt, vochtig gehouden. Om zo de wateroplosbare pollutanten, zoals formaldehyde op te nemen in het water. De micro-organismen die tussen de massa in het water leven breken de pollutanten vervolgens af en gebruiken formaldehyde als koolstofbron.

#### TOLUEEN:

Tolueen is geen wateroplosbare stof en wordt gemakkelijk geadsorbeerd door actieve kool.

Uit adsorptie cijfers van actieve kool van 'Desotec' zijn de Freundlich-constanten te berekenen. (zie bijlage) Bij de cijfers zijn de verzadigingsconcentratie en de percentuele verzadiging per concentratie in de lucht terug te vinden. Door deze in de Freundlichvergelijking te plaatsen kunnen de Constanten berekend worden.

lading = 21 % gewicht tolueen per gewicht actieve kool  
bij concentratie in de lucht = 0,1 g /m<sup>3</sup> tolueen  
dus 0,21 g tolueen/ 1 g actieve kool = 210

$$\text{mg/g en } 0,1 \text{ g/m}^3 = 100 \text{ mg/m}^3 = 0,1 \text{ mg/L} \\ \Rightarrow 210 = K \times 0,1^{1/n}$$

ook:

lading = 35 % gewicht tolueen per gewicht actieve kool  
bij concentratie in de lucht = 10 g/m<sup>3</sup> dus 0,35 g tolueen/ 1 g actieve kool = 350 mg/g en 10 g/m<sup>3</sup> = 10 mg/L  
 $\Rightarrow 350 = K \times 10^{1/n}$

$$210 = K \times 0,1^{1/n} \\ 350 = K \times 10^{1/n}$$

$$\Rightarrow \log 210 = \log K + 1/n \log 0,1 \\ \Rightarrow \log 350 = \log K + 1/n \log 10$$

$$\Rightarrow 2,3 = \log K + 1/n (-1) \\ \Rightarrow 2,44 = \log K + 1/n 1$$

$$\Rightarrow \log K = 2,3 + 1/n$$

$$\Rightarrow 2,44 = 2,3 + 2/n \Rightarrow 2,44 n - 2,3 n = 2 \\ \Rightarrow 0,14 n = 2 \quad \Rightarrow n = 2/0,14 = 14,28$$

$$\Rightarrow \log K = 2,3 + 1/14,28 = 2,37 \quad \Rightarrow K = 234,4$$

$$K = 234,4 \\ n = 14,28$$

Als we de gegevens over tolueen uit de test van NYSERDA gaan vergelijken met droge actieve kool krijgen we volgende resultaten:

Het substraat bevat 0,108 m<sup>3</sup> actieve kool = >  
460 kg/m<sup>3</sup> x 0,108 m<sup>3</sup> = 49,68 kg  
Debiet = 815 m<sup>3</sup>/h  
Beginconcentratie tolueen = 8 µg/m<sup>3</sup>

Na 300 dagen had de filter een constant filterend vermogen van 20% SPE voor tolueen.  
Als er slechts 20% gefilterd wordt, is de evenwichtsconcentratie 8 µg/m<sup>3</sup> x 80% = 6,4 µg/m<sup>3</sup>  
 $\Rightarrow 6,4 \text{ µg/m}^3 = (6,4 \times 10^{-6}) \text{ mg/L}$

Dan geldt:

$$X / M = 234,4 \times (6,4 \times 10^{-6})^{1/14,28} \\ X / M = 99,76 \text{ mg/g}$$

Voor een debiet van 815 m<sup>3</sup>/h geldt dan:

hoeveelheid opgenomen toluen x debiet x 24  
h = hoeveelheid toluen per dag

$(0,008 - 0,0064) \text{ mg/m}^3 \times 815 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} =$   
31,296 mg pollutant/dag  
=> 0,314 g actieve kool/dag

Door deze formules te gebruiken kan berekend worden hoeveel actieve kool aanwezig zal moeten zijn in het nieuwe systeem.

Conclusie: om 300 dagen met 20% filterefficiëntie (SPE: Single Pass Efficiency) toluen uit de lucht te filteren heeft men  $(0,314 \text{ g/d} \times 300 \text{ d} =)$  94,11 g actieve kool nodig.

Het cijfer ligt zo laag omwille van het feit dat toluen zeer goed hecht op actieve kool. In de botanische filter wordt  $\pm 50 \text{ kg}$  actieve kool gebruikt in het substraat. Maar daar wordt deze vochtig gemaakt, wat de adsorptie van toluen op de actieve kool minder efficiënt laat verlopen. Omdat er zich een waterfilm bevindt rond de actieve kool waardoor toluen eerst moet migreren om gesorbeerd te worden op de actieve kool. Daar toluen onoplosbaar is in water vormt deze waterfilm een echte barrière tegen de verwijdering van toluen. Voor de verwijdering van toluen is het dus best te werken met "droge" actieve kool.

Voor toluen zijn de eigenschappen van de bio afbreekbaarheid uit 'Epi-web' als volgt:

Totale biologische afbreekbaarheid: 94,96 %  
Totale adsorptie op micro-organismen: 1,36 %  
Totale afgifte: 17,34 %

Dit wil zeggen dat micro-organismen toluen voor 95 % omzetten in koolstofdioxide en water en ongeveer 1 % gesorbeerd wordt op de celwand van de organismen. Ze laten echter wel nog 17 % terug vrij in de lucht indien er actief belucht wordt. Dit wilt wel zeggen dat toluen die wordt opgenomen in de botanische filter ook zal worden afgebroken door de micro-organismen.

Conclusie: De voorgestelde botanische filter is niet efficiënt in het verwijderen van niet-wateroplosbare VOC's uit de lucht. Dit komt omwille van de vochtigheid in het substraat. Het water vormt een dunne laag rond de actieve kool

in het substraat, waardoor de niet-wateroplosbare polluenten moeilijker bij de actieve kool komen en op die manier niet efficiënt worden geadsorbeerd. De polluenten die wel worden opgenomen kunnen echter wel op biologische manier afgebroken worden.

### 2.7.3 Algemeen besluit:

Uit voorgaande berekeningen wordt geconcludeerd dat deze botanische filter niet efficiënt is ontworpen. Er wordt beweerd dat de actieve kool in de botanische filter nooit vervangen zal moeten worden dankzij de regeneratie van de actieve kool, maar dit is niet bewezen. De filter in de test is enorm efficiënt voor het verwijderen van wateroplosbare stoffen. Maar dit heeft echter niet veel te maken met de hoeveelheid actieve kool die in het substraat aanwezig is. Dit is eerder een gevolg van de waterfilm in het filterbed. De polluenten worden geabsorbeerd in het water en daar afgebroken door de micro-organismen die er leven.

De niet-wateroplosbare polluenten dienen wel opgenomen te worden door de actieve kool, maar in de botanische filter wordt de adsorptie-efficiëntie verslechterd door het water dat een film vormt rond de actieve kool en zo een barrière vormt. In een droge opstelling zou er tot 500 keer minder actieve kool moeten zijn om even efficiënt te filteren op deze niet-wateroplosbare polluenten.

Naar het ontwerpen toe van een efficiënt en milieuvriendelijk systeem is het dan zeer interessant om de filtering van onze binnenlucht te laten verlopen in verschillende stappen: 'de droge' en 'de vochtige' filtering. Zo zal er minder actieve kool nodig zijn en kunnen de volumes van de vochtige filtering en de hoeveelheid actieve kool in de droge filtering beter bepaald worden. Het zal wel nodig zijn om de actieve kool te vervangen na bepaalde periode, maar die periode kan nog bepaald worden in het verdere ontwerpproces.

In de vochtige filtering blijft het zeer interessant om planten te plaatsen. Deze zorgen op een natuurlijke wijze voor een combinatie micro-organismen die bepaalde polluenten kunnen afbreken.

## 3. Productidee

### 3.1 Omschrijving

Uit de eerder onderzochte problematiek en de bestaande oplossingen, blijkt dat er een grote verbetering mogelijk is op het vlak van luchtzuivering in onze hedendaagse woningen. Het productidee dat uit dit onderzoek voortkomt om de binnenlucht te zuiveren is een geoptimaliseerde botanische luchtfilter geïmplementeerd in een ventilatiesysteem D.

### 3.2 Afbakening

De focus bij het uitwerken van dit productidee zal zich toespitsen op de verbetering van de binnenluchtkwaliteit met al de aspecten die daar bij horen. De werking van het modulaire systeem zal hierbij uitgewerkt worden. De werking van een centraal luchtafvoersysteem zal binnen dit ontwerpproces niet vernieuwd worden. Het eindproduct wordt een modulaire unit die naar gelang de noden in een bepaalde kamer een goede binnenluchtkwaliteit garandeert.

### 3.3 Beoogde meerwaarde

Het is een noodzaak de binnenlucht in onze huizen en kantoren beter te zuiveren, omwille van de grote concentraties pollutanten die er aanwezig zijn en onze gezondheid schaden. Het eindproduct zal op een ecologische manier een verbeterde en aangename binnenluchtkwaliteit garanderen. De botanische filter filtert beter VOC's uit de lucht dan industriële filters en geeft hierdoor een veel betere luchtkwaliteit. Voor mensen met bepaalde allergieën is dit een enorm voordeel. Door het bevochtigen van het substraat wordt er een betere luchtvochtigheid in het huis verkregen, wat zeker in de droge winter een groot voordeel biedt. De bevochtiging gebeurt door de verdamping van zuiver gedestilleerd water. Dit geeft een betere luchtkwaliteit dan verneveling.

Een extra meerwaarde komt door de esthetische waarde van planten in de leefomgeving en het groene imago dat ermee verkregen kan worden. Dit alles zal een modulair systeem zijn, waarbij het design van de unit kan voortgezet worden in al de kamers van een huis of kantoor.

## 3.4 Beoogde doelgroep

Het systeem is interessant voor iedereen, aangezien iedereen nood heeft aan een betere binnenluchtkwaliteit. Men is in alle architecturale nieuwbouw- en verbouwingsprojecten verplicht te voldoen aan de EPB-wetgeving. Hierdoor is men sinds kort genoodzaakt een ventilatiesysteem in te bouwen.

Elk jaar worden er ongeveer 26.000 woongebouwen en 4000 niet-woongebouwen bijgeplaatst en 28.000 woongebouwen en 5000 niet-woongebouwen verbouwd. (statbel.fgov, 2011) Als hiervan 10% een ventilatiesysteem D installeert, is deze markt al behoorlijk groot voor België alleen. Als van deze 10 % de helft zou opteren voor het nieuwe systeem, dan zouden er 3300 installaties geplaatst kunnen worden per jaar. Hierbij komen de gebouwen die reeds een ventilatiesysteem D hebben waar het volstaat om de filtermodule te plaatsen, of bestaande gebouwen waar men een nieuwe of verbeterde ventilatie wil plaatsen. Zo zijn er bedrijfsgebouwen, waar men een financieel voordeel kan halen uit het systeem als de gezondheid van het personeel stijgt met 30% (minder zieken). En de productiviteit stijgt met 20%.

## 3.5 Economische analyse

Er is een businessdefinition opgesteld voor het concept. Dit was reeds in een vroegtijdig stadium opgesteld waardoor er enkele schattingen in de kostprijs van het product kunnen verschillen van het definitieve product.

De conclusie uit de analyse is als volgt:

“Het zal niet vanzelfsprekend zijn om het concept op de markt te brengen en te lanceren als een succes. Het nieuwe concept dient eerst bekend gemaakt te worden en het moet door zijn innoverende kracht, het inspelen op de hedendaagse trends en het verkrijgen van exclusieve meerwaarden klanten lokken en zo bekend worden bij een breed publiek binnen de sector. Maar door een stijging in de gewaarwording van de problematiek en het geloof in de botanische filter, zal het concept geleidelijk zijn plaats in de markt opeisen. Deze markt bestaat uit EPB-verantwoordelijken, architecten en ingenieurs. Zij bezitten de vak kennis en zijn best geplaatst om de consument van het systeem te overtuigen; het is dus zaak eerst deze vakmensen te overtuigen via beurzen en vaktijdschriften.”

### 3.6 Specificaties op idee-niveau

ventilatie:

planten & het substraat:

- planten kiezen adhv kennis zuivering en onderhoudsgemak: vb.: Hedera Helix
- planten mogen de bevochtiging niet hinderen
- er moet licht bij de planten komen

- decentrale luchtaanvoer in droge kamers: woonkamer, leefruimtes en slaapkamers
- centraal vervuilde lucht afvoeren vanuit vochtige kamers: keuken, badkamer, wc, ...
- doorvoer lucht gebeurt door gang, deuren, ...

behuizing:

- moet voor een raam geplaatst worden
- er moet een systeem zijn om substraat en planten te vervangen
- moet luchtdicht afgesloten worden
- gebruiker moet bij de planten geraken voor onderhoud
- gebruiker moet behuizing kunnen onderhouden
- moet esthetisch zicht op plant bewaren
- oppervlakte waar lucht langs passeert moet glad zijn
- het systeem mag geen storend geluid produceren ( niet boven 35 dB)

gehele installatie en omgeving:

- moet modulair aanpasbaar zijn aan de noden in een kamer
- systeem moet voldoen aan Belgische normen voor binnenlucht

controle:

- irrigatiesysteem voorziet water in het substraat
- het water dat door het bed loopt moet terug opgenomen worden in het irrigatiesysteem om verlies van micro-organismen en nutriënten te voorkomen
- vochtigheid in substraat moet gemeten worden
- vochtigheid moet rond de 30% behouden worden
- het vochtgehalte moet gemeten worden met een interval van 10 seconden
- ventilatie wordt afgezet bij vervanging substraat en onderhoud
- gebruiker krijgt feedback over vochtigheid
- indien nodig moeten nutriënten worden toegevoegd aan irrigatiesysteem

## 4. Stysteemontwerp

### 4.1 Ventilatiesysteem

Er is voor een systeem D gekozen omdat hier de volledige ventilatie in huis gecontroleerd kan verlopen. Om zo veel mogelijk potentiële gebruikers te behouden, wordt er een systeem ontworpen dat zowel in nieuwbouwwoningen als in verbouwingen kan geïnstalleerd worden. Zo zal er gekozen worden voor een unit die decentraal de lucht aanvoert door een verwarmingselement. Hierdoor kan door middel van een gat in de gevel lucht decentraal aangetrokken worden. Dit type ventilatie werkt in combinatie met een centrale luchtafvoer die aan een zelfde debiet lucht afvoert als er lucht wordt aangevoerd, om overdruk te voorkomen. Deze luchtafvoer is eventueel te combineren met een warmtewisselaar om zo de warmte van de afgevoerde lucht nog te recupereren.

Het systeem moet modulair zijn zodat het in elke kamer geplaatst kan worden. De basis-unit moet een verwarmingselement zijn dat als verwarming in kamers kan geplaatst worden, zelfs als ventilatie en filtering niet noodzakelijk is. Deze verwarmingsunit kan naar gelang de noden voor de kamer waar het geplaatst wordt, uitgebreid worden met ventilatie, luchtfiltering en luchtbevochtiging.

Er bestaan reeds vergelijkbare producten die een efficiënte ventilatie verwezenlijken. Deze voldoen echter niet aan de nood om de lucht voldoende te filteren. Er is ook geen enkel vergelijkbaar systeem dat ook de luchtvochtigheid zal verbeteren.

Hier enkele voorbeelden:

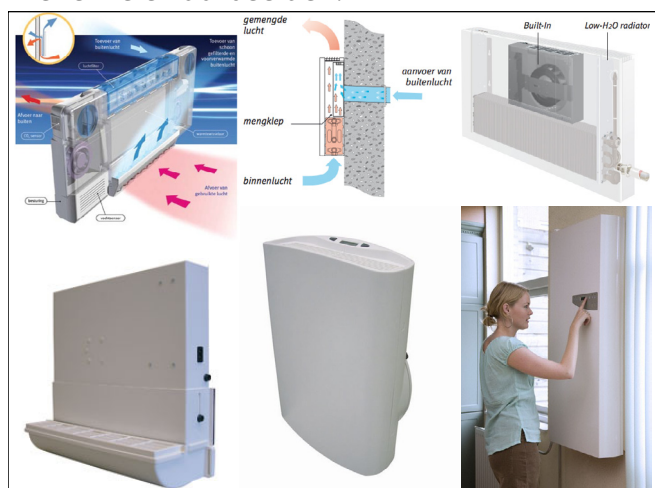


Fig. 9: Gerelateerde producten

De ventilatie in het gebouw heeft een vergelijkbare werking als de 'oxygen-unit' van Jaga. De ventilatie moet volledig CO<sub>2</sub>-gestuurd zijn. Zo is de gebruiker nooit verantwoordelijk voor onvoldoende ventilatie, wat te hoge concentraties CO<sub>2</sub> tot gevolg kan hebben. En zo worden de ventilatiehoeveelheden beperkt, door alleen te ventileren als het nodig is. (ventilatietechniek, 2006) Met als gevolg dat er geen warmte verloren zal gaan. Het is echter wel mogelijk om manueel de ventilatie te bedienen en zo de automatische besturing tijdelijk verbreken.

### 4.2 Verwarming

De verwarming gebeurt door middel van Low-H<sub>2</sub>O-convectoren. Deze convectoren en radiatoren gebruiken minder water, waardoor ze sneller opwarmen en afkoelen. Door het gebruik van koperen of aluminium lamellen wordt de warmte efficiënter afgegeven aan de omgeving. In praktijkproeven heeft men een energiebesparing van 12% vastgesteld ten opzichte van andere radiatoren en convectoren. (Tieben vastgoed, 2011) Dankzij de lage watertemperatuur zijn deze convectoren goed te combineren met lucht of grondwarmtepompen. Deze zijn voor nulenergiewoningen enorm interessant.

Het systeem zal in de kamers de temperatuur meten en via een centrale unit de verwarming over het hele huis regelen.

### 4.3 Vormbepalende aspecten

Er zijn enkele vormbepalende aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij het verder ontwerpen van het systeem.

De planten in het systeem hebben voldoende licht nodig. Hierdoor moet de volledige unit onder een raam passen. De veiligheidsnorm voor de dorpel van een raamhoogte is minimum 90 cm.

Verder is de ergonomische armbreedte 50 cm. Hierdoor mag de unit niet verder dan 45 cm uitsteken vanaf de muur.

Het is aangewezen om de behuizing onderaan smaller te maken, om zo een voertruimte te maken indien men aan het raam wil komen. De behuizing moet slagvast zijn.

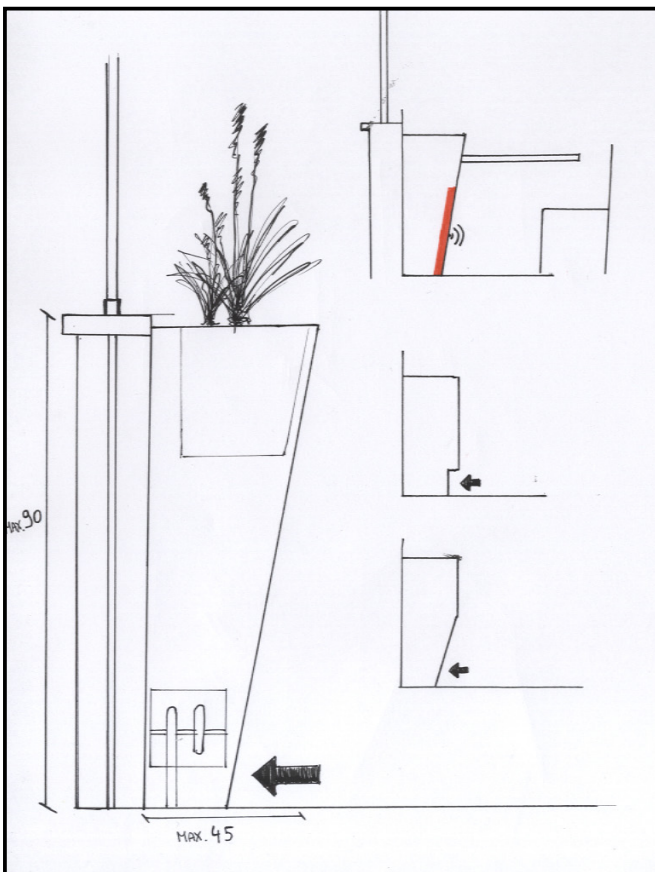


Fig. 10 : Vormbepalende aspecten

De natuurlijke convectie van de convectoren moet zo min mogelijk verstoord worden.

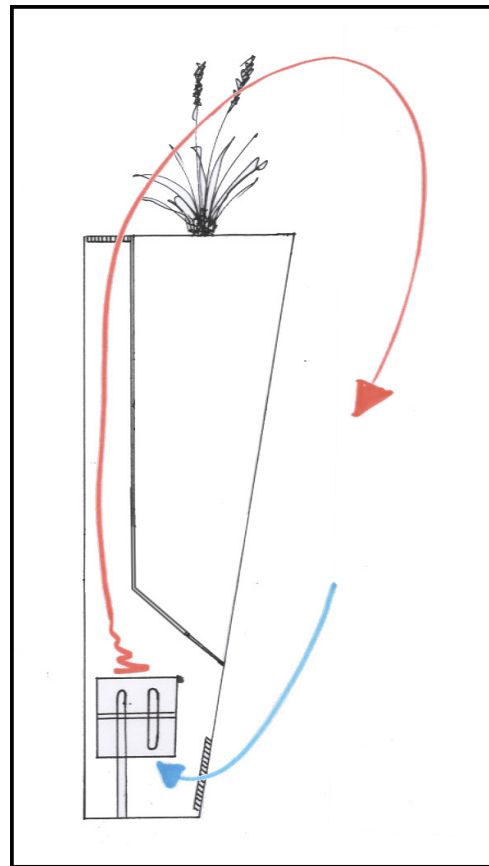


Fig. 11: Natuurlijke convectiestroom

### 4.4 Concepten

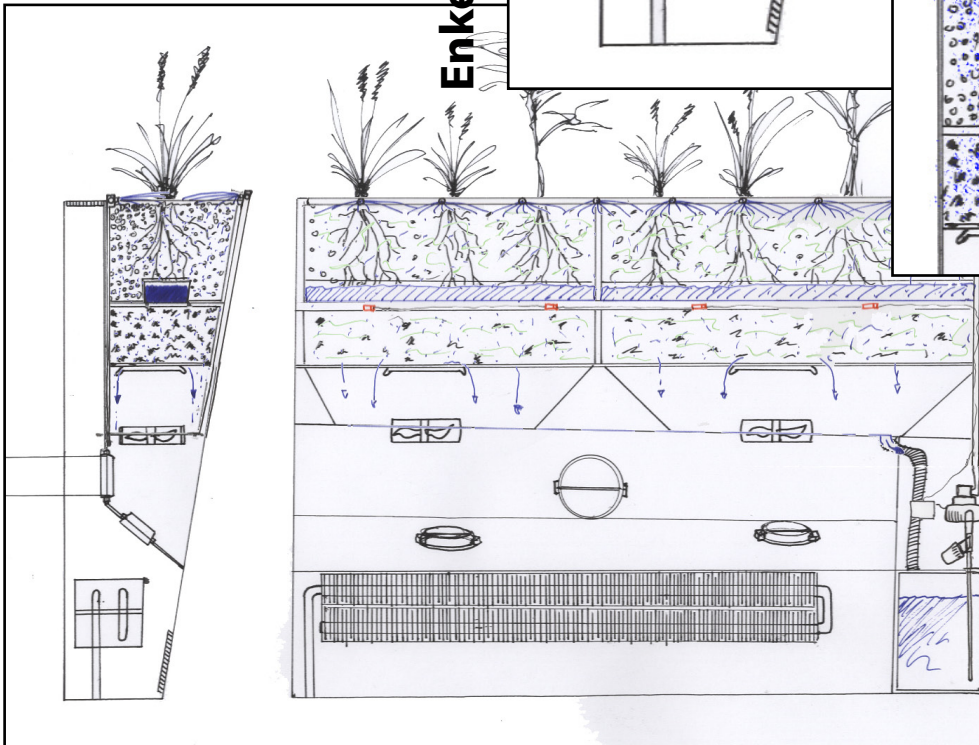
Na enkele brainstormsessies en quickdesigns zijn er enkele concepten verkregen. De meeste waren enorm complex. Op volgende pagina is zo een concept te zien. Het systeem werkte als volgt:

De luchtaanvoer in het ventilatiesysteem wordt via een CO<sub>2</sub>-sensor bestuurd. Indien lucht wordt aangevoerd, zou eerst gecontroleerd worden hoe warm de lucht buiten is. Afhankelijk van de temperatuur zou deze lucht dan gemengd worden met lucht die wordt opgewarmd door een convector, om zo de ideale temperatuur voor de filtering te verkrijgen. Dit systeem zou werken aan de hand van een kleppensysteem, dat regelt hoeveel opgewarmde lucht toegevoegd wordt. Op deze manier kan gebruik worden gemaakt van één enkele ventilator en kan indien geen externe lucht wordt toegevoegd, de binnenlucht verder gefilterd worden. Dit principe was echter te complex en er waren niet voldoende middelen om hier verder onderzoek naar te verrichten.

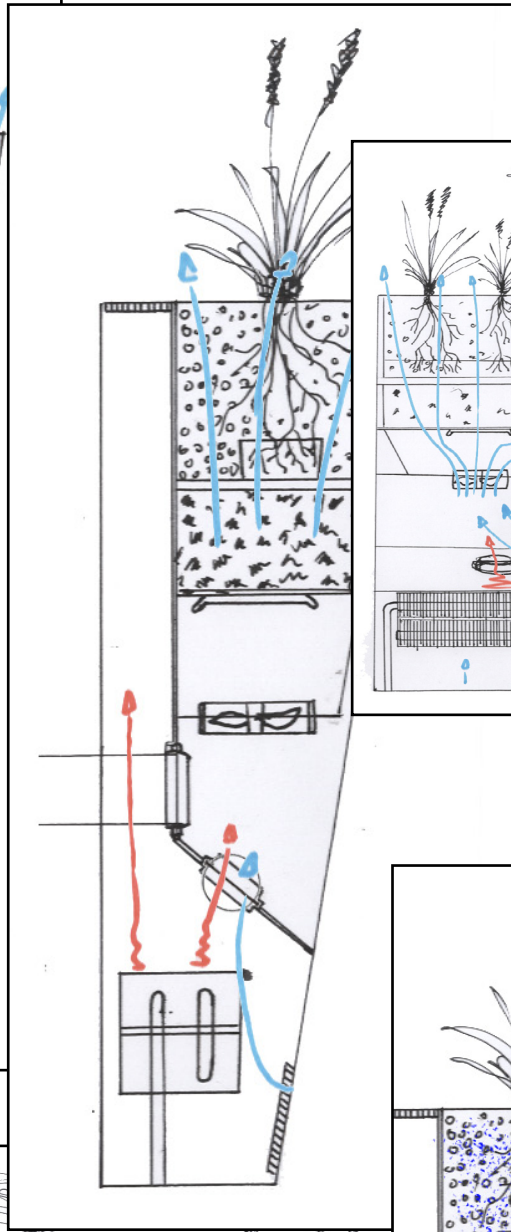
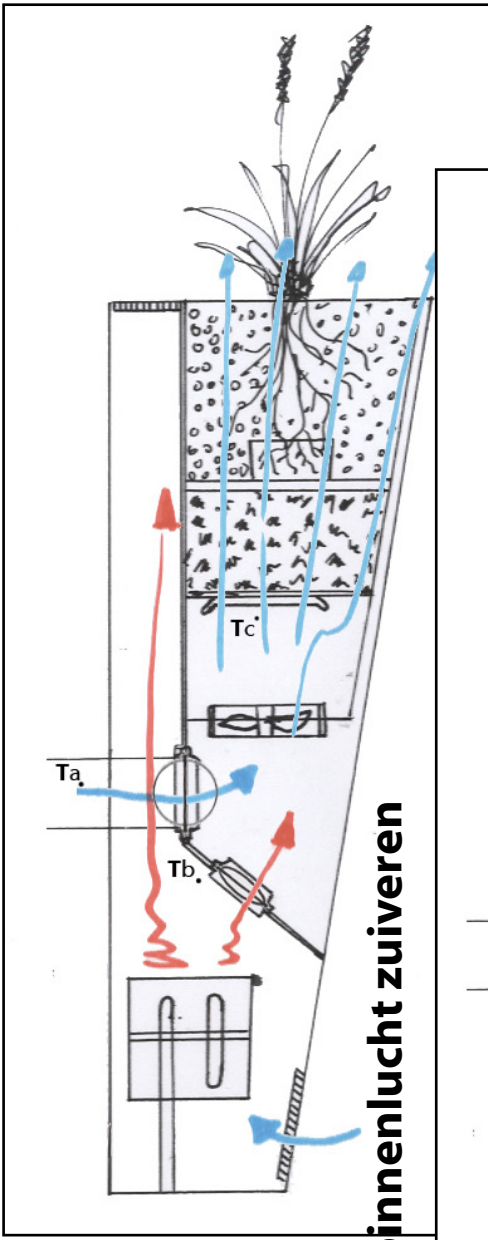
Het definitieve concept is van dit concept afgeleid. Het was echter wel noodzakelijk om het systeem te vereenvoudigen om de efficiënte werking ervan aan te tonen.



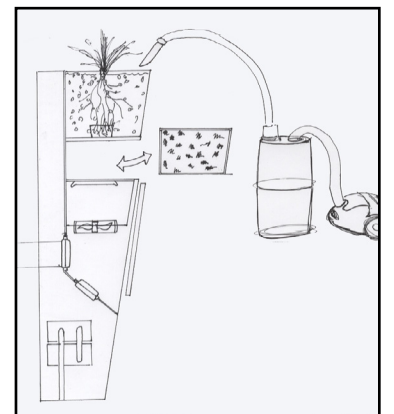
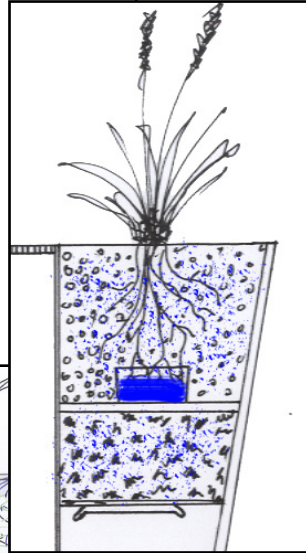
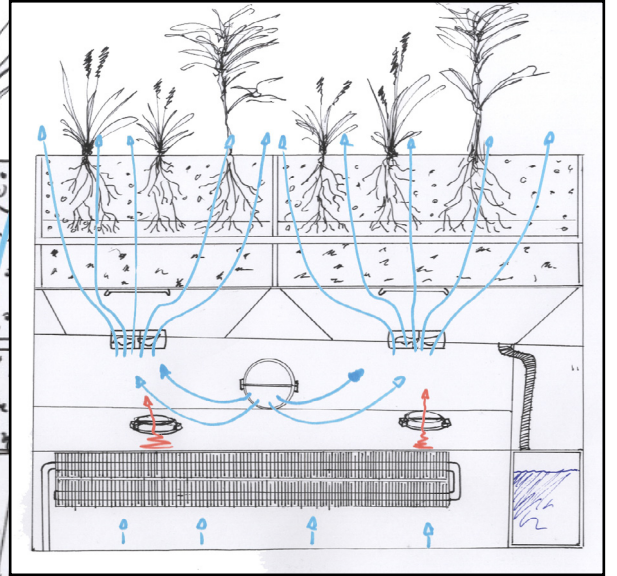
**Buitenlucht aanvoeren en zuiveren**



**Enkel binnenlucht zuiveren**



**Vooraanzicht**



## 5. Productontwerp

### 5.1 Opbouw verschillende units

Op volgende pagina is een morfologische fiche te zien waar verschillende samenstellingen van elementen in de nieuwe units worden weergegeven. Er werd gekozen voor de samenstelling waarbij de units minder lang zijn dan 1,40 m bij een hoogte kleiner dan 0,80 m. Ook werd er gekozen voor het verdelen van de luchtaanvoer over verschillende elementen om zo geluidshinder te voorkomen van de ventilator. Met deze samenstellingen kan in vrijwel elke kamer een samenstelling gekozen worden die zal voldoen aan de noden om een goede binnenluchtkwaliteit te verzekeren.

De samenstelling van al de elementen in het systeem is te zien op de daarop volgende pagina. Er is te zien welke functies de elementen uitvoeren en door welke elementen deze bestuurd worden. Ook is te zien of de informatieoverdracht gebeurt via een plaatselijke verbinding of via het centraal netwerk dat verbonden is met de master-unit. In de master-unit worden de gegevens omgezet naar uit te voeren taken. Ook is het mogelijk dat de gebruiker een tijdelijke aanpassing doet in de bediening. Deze zal op de master-unit worden ingegeven en via het elektrisch net doorgestuurd naar de betrokken elementen.

 Gekozen optie

WOONKAMER: vereiste debiet = 150 m<sup>3</sup>/h / vereiste verwarmingsvermogen = 6000 - 7000 W

Mogelijke samenstellingen: 1/2 radiatoren

6000 W 150 m <sup>3</sup> /h > H 90 / L 300 > 5274 W + filter
1000 W

2 radiatoren

3000 W 150 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 180 + filter	3000 W > H 70 / L 180 (+ filter)
---	--

3000 W 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 180 + filter	3000 W 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 180 (+ filter)
--	--

3 radiatoren

2000 W 50 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 + filter	2000 W 50 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 (+ filter)	2000 W 50 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120
--	--	--

2000 W 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 + filter	2000 W 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 (+ filter)	2000 W > H 70 / L 120
--	--	--------------------------

2000 W 2 X 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 + filter	2000 W > H 70 / L 120 (+ filter)	2000 W > H 70 / L 120
--	--	--------------------------

SLAAP-/ STUDIE-/ HOBBYKAMER: vereiste debiet = 36 m<sup>3</sup>/h / vereiste verwarmingsvermogen = 1000 - 2000 W

Mogelijke samenstellingen: 1 radiator

2000 W 50 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 (+ filter)
--

2000 W 80 m <sup>3</sup> /h > H 70 / L 120 (+ filter)
--

AFVOERKAMERS (vochtige ruimtes): afvoer debiet = aangevoerd debiet / vereiste verwarmingsvermogen = 1000 - 2000 W

Mogelijke samenstellingen: 1 radiator

2000 W > H 70 / L 120
--------------------------

Fig. 12: Morfologische fiche voor samenstelling units

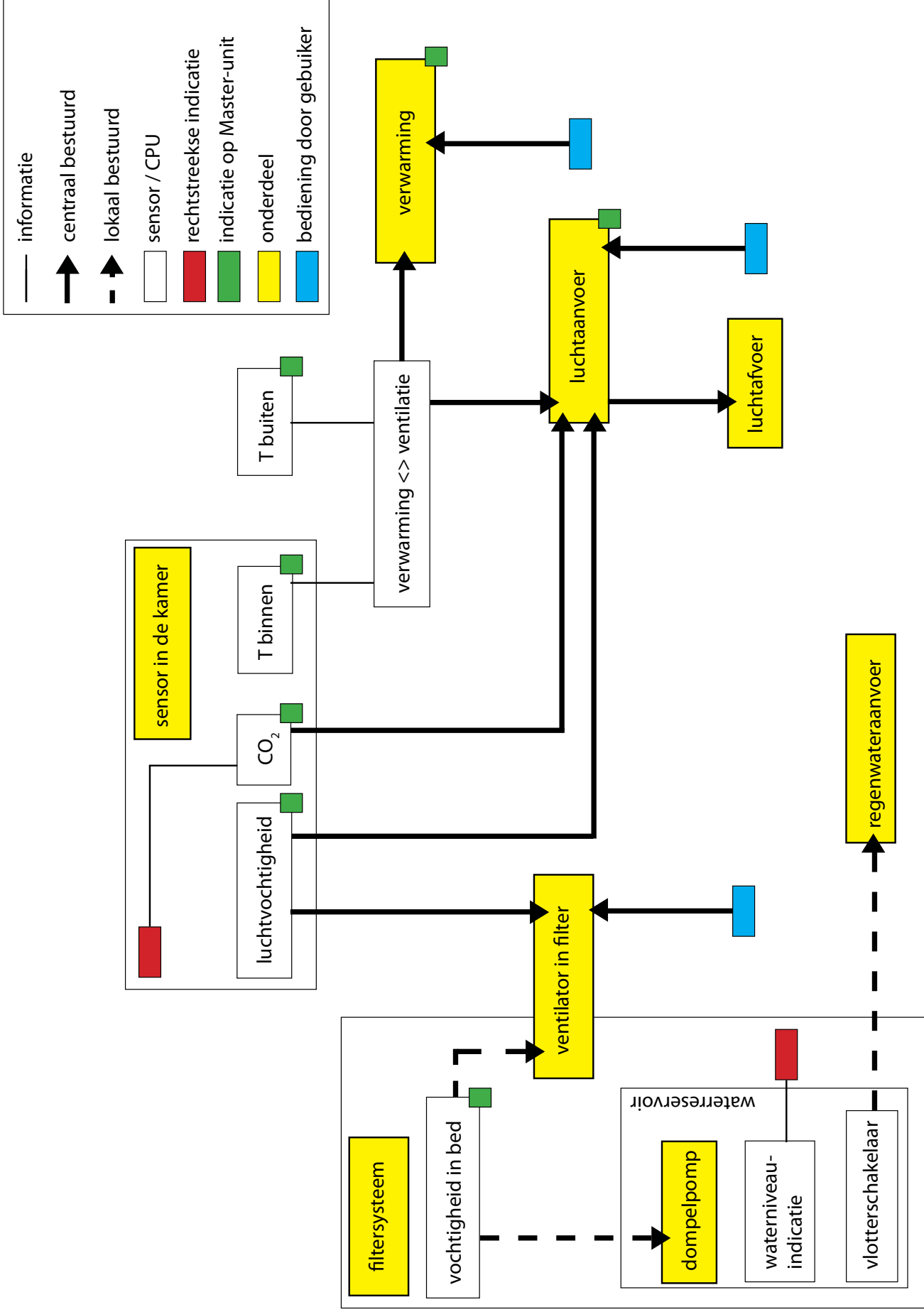


Fig. 13.: Samenstelling elementen in het systeem

## 5.2 berekening specificaties voor wateroplosbare polluenten

De berekenen voor een bio-scrubber zijn enorm complex aangezien er met veel elementen rekening gehouden dient te worden. Zo moeten de evenwichten, de stofoverdrachten, de dikte van de waterfilm, het volume substraat, temperaturen, enzovoort allemaal in rekening gebracht worden. Voor het bepalen van de specificaties voor de bio-filter zal er worden uitgegaan van het testmodel en de resultaten in het NYSERDA onderzoek. Dit zal dan een theoretische benadering van de werkelijke filterende capaciteit opleveren.

De filter in de test werkt met een automatisch irrigatiesysteem, bestuurd door een vochtigheidssensor in het substraat. Van zodra de vochtconcentratie te laag is, wordt de ventilator gestopt en wordt er water toegevoegd. Van zodra het substraat terug de juiste vochtigheid behaalt begint na 3 minuten de ventilator pas terug te draaien.

Gemiddeld was er een waterconcentratie van 0,08 tot 0,1 m<sup>3</sup> water/m<sup>3</sup> bed bij een debiet van 815 m<sup>3</sup>/h. Dit resulteerde in 60 - 70 % SPE voor formaldehyde en een uitkomende luchtvochtigheid van 74 tot 82 %.

Aan de hand van volgende formule kan het volume filterbed en het volume water dat in het bed aanwezig zal moeten zijn voor een gegeven debiet, berekend worden. De verblijftijd van de lucht in het filterbed in de test is reeds eerder berekend geweest en was 2,6503 x 10<sup>-4</sup> h.

$$\begin{aligned} \text{verblijftijd (h)} \times \text{debiet (m}^3/\text{h)} &= \text{volume filterbed (m}^3) \\ \Rightarrow \text{volume filterbed (m}^3) \times 0,08 \text{ (m}^3 \text{ water/m}^3 \text{ filterbed)} &= \text{volume water nodig in bed (m}^3) \end{aligned}$$

Bijvoorbeeld voor een debiet van 150 m<sup>3</sup>/h geldt dan:

$$\begin{aligned} 2,6503 \times 10^{-4} \text{ h} \times 150 \text{ m}^3/\text{h} &= 0,03975 \text{ m}^3 \text{ filterbed} \\ \Rightarrow 0,03975 \text{ m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3 \text{ water/m}^3 \text{ filterbed} &= 0,00318 \text{ m}^3 \text{ water} = 3,18 \text{ L} \end{aligned}$$

Dan zal er ongeveer 3 liter water in het substraat verspreid moeten worden.

VOLUMES VOOR DE UNIT:

Voor een debiet van 80 m<sup>3</sup>/h en een te bekomen SPE van 60 tot 70 % geldt:

$$\text{verblijftijd (h)} \times \text{debiet (m}^3/\text{h)} = \text{volume filterbed (m}^3)$$

$$\begin{aligned} 2,6503 \times 10^{-4} \text{ h} \times 80 \text{ m}^3/\text{h} &= 0,0212 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow \text{volume filterbed (m}^3) \times 0,08 \text{ (m}^3 \text{ water/m}^3 \text{ filterbed)} &= \text{volume water nodig in bed (m}^3) \end{aligned}$$

$$0,0212 \text{ m}^3 \times 0,08 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 0,001696 \text{ m}^3 \text{ water} = 1,69 \text{ L}$$

## 5.3 berekening specificaties voor niet-wateroplosbare polluenten

Voor een filterende capaciteit van 50% op toluen geldt:

$$K = 234,4 \text{ en } n = 14,28$$

Gemiddelde concentratie van 9,6 µg/m<sup>3</sup> in woningen (50 % van 9,6 µg/m<sup>3</sup> = 4,8 µg/m<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} X / M &= 234,4 \times (4,8 \times 10^{-6})^{1/14,28} \\ X / M &= 99,42 \end{aligned}$$

Indien de filter op vol vermogen de hele dag filtert geldt:

$$\begin{aligned} \text{hoeveelheid opgenomen toluen} \times \text{debiet} \times 24 \text{ h} &= \text{hoeveelheid toluen per dag} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (0,0096 - 0,0048) \text{ mg/m}^3 \times 80 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 9,216 \text{ mg pollutant/dag} \\ \Rightarrow 0,093 \text{ g actieve kool/dag} \end{aligned}$$

Indien er minstens een jaar gefilterd moet worden, is er een filter nodig van 33,8 g.

BENZEEN:

Uit het onderzoek van VITO blijkt dat benzeen één van de belangrijkste problemen is in onze binnenlucht. Hier volgt een zelfde onderzoek als hetgeen hier boven is gebeurd, om te weten hoeveel actieve kool er nodig zou zijn om de concentratie benzeen tot onder de Vlaamse normen te krijgen.

Zo worden er nog accuratere cijfers verkregen om het systeem op te baseren. De Vlaamse norm zegt dat de concentratie benzeen in onze omgevingslucht, lager moet zijn dan  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Er werden nog vaak te hoge concentraties gemeten. De gemiddelde concentratie was  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wat nog onder de norm ligt, maar er zijn ook hogere concentraties gemeten. De filter zou in staat moeten zijn om de concentratie met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te doen dalen.

Uit adsorptie cijfers van actieve kool van 'Desotec' zijn de freundlich-constanten te berekenen zoals eerder voor toluen berekend is.

$$\begin{aligned} \text{lading} &= 10 \% \text{ gewicht toluen per gewicht} \\ &\text{actieve kool bij concentratie in de lucht} = 0,1 \\ &\text{g} / \text{m}^3 \text{ toluen} \\ \text{dus } 0,10 \text{ g toluen} / 1 \text{ g actieve kool} &= 100 \\ &\text{mg/g} \\ \text{en } 0,1 \text{ g}/\text{m}^3 &= 100 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,1 \text{ mg/L} \\ \Rightarrow 100 &= K \times 0,1^{1/n} \end{aligned}$$

ook:

$$\begin{aligned} \text{lading} &= 16 \% \text{ gewicht toluen per gewicht} \\ &\text{actieve kool bij concentratie in de lucht} = 1 \\ &\text{g}/\text{m}^3 \\ \text{dus } 0,16 \text{ g toluen} / 1 \text{ g actieve kool} &= 160 \\ &\text{mg/g} \\ \text{en } 1 \text{ g}/\text{m}^3 &= 1 \text{ mg/L} \\ \Rightarrow 160 &= K \times 1^{1/n} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 100 &= K \times 0,1^{1/n} \\ 160 &= K \times 1^{1/n} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \log 100 &= \log K + 1/n \log 0,1 \\ \Rightarrow \log 160 &= \log K + 1/n \log 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow 2 &= \log K + 1/n (-1) \\ \Rightarrow 2,2 &= \log K + 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \log K &= 2,2 & \Rightarrow K &= 158,489 \\ \Rightarrow 2 &= 2,2 - 1/n & \Rightarrow 2n - 2,2n &= -1 \\ \Rightarrow 0,2n &= 1 & \Rightarrow n &= 1/0,2 = 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= 158,5 \\ n &= 5 \end{aligned}$$

Om de concentratie benzeen met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te doen dalen wordt de evenwichtsconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  indien de beginconcentratie  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is.

$$\begin{aligned} X / M &= 158,5 \times (1 \times 10^{-6})^{1/5} \\ X / M &= 10,0006 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

Hier wordt berekend hoeveel actieve kool nodig is om in onze huizen de concentratie met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te doen dalen.

$$\begin{aligned} \text{hoeveelheid opgenomen benzeen} \times \text{debiet} \times \\ 24 \text{ h} &= \text{hoeveelheid toluen per dag} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (0,002 - 0,001) \text{ mg}/\text{m}^3 \times 80 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 1,92 \\ \text{mg pollutant/dag} \\ \Rightarrow 0,192 \text{ g actieve kool/dag} \end{aligned}$$

Voor een jaar zou er 70 g actieve kool moeten zijn om de concentratie in de lucht met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te doen dalen.

In het systeem zal een filter komen van 100 g actieve kool.

## 5.4 Specificaties voor ventilatie

De ventilatie wordt geregeld door verscheidene factoren.

- Het CO<sub>2</sub>-gehalte zal altijd prioriteit krijgen voor de besturing van het systeem. Indien het CO<sub>2</sub>-gehalte te hoog wordt, zal de ventilatie ook stijgen tot deze weer onder de grensconcentratie komt. De gebruiker kan dan nog steeds een tijdelijke instelling invoeren die niet zal voldoen aan de vooropgestelde CO<sub>2</sub>-gehalten. Indien dit zich voordoet, zal hij wel een waarschuwing krijgen op de master-unit en een visuele feedback in de vorm van een lichtindicatie op de CO<sub>2</sub>-sensor.

De grensconcentraties voor de CO<sub>2</sub> zijn als volgt:

- concentratie:	beoordeling	indicatie op sensor
- concentratie < 1000 ppm	goed	groen
- 1000 < concentratie < 1600 ppm	redelijk	oranje
- concentratie > 1600 ppm	matig	rood
- concentratie > 5000 ppm	bedreigend	rood knipperend

- Problemen met betrekking tot vochtophoping in de natte ruimtes zoals schimmels zijn te voorkomen door de ruimtes voldoende te ventileren. Hiervoor is er in de ruimtes een vochtsensor aanwezig. Het systeem reageert op een stijging in de luchtvochtigheid en dus niet, zoals andere systemen, op een hoge luchtvochtigheid. Dit voorkomt overmatige en onnodige afzuiging op dagen met een hoge relatieve vochtigheid.

- In de kamers waarbij het systeem wordt uitgerust met de volledige klimaatregeling zal ook een vochtsensor aanwezig zijn. Door middel van luchtafvoer en -aanvoer en het debiet door het plantenbed, wordt de luchtvochtigheid geregeld en in evenwicht gehouden. De ideale vochtigheid ligt tussen 40 en 60 %, maar deze is aanpasbaar op de master-unit.

- Indien de relatieve vochtigheid over de 60 % komt wordt deze lucht via het centrale afvoersysteem afgevoerd en wordt er nieuwe buitenlucht aangevoerd.

- Indien de relatieve luchtvochtigheid onder de 60 % ligt, zal het debiet van het klimaatregelend filterbed verhoogd worden.

- Indien de gebruiker nog extra ventilatie wil, kan hij op de master het systeem voor elke ruimte per dagdeel specifiek instellen en dit over een hele week. De ventilatie wordt dan automatisch geregeld afhankelijk van het aantal units in de ruimtes.

- Er kan een tijdelijke instelling gebruikt worden. Hier kan de gebruiker een andere ventilatie instellen en deze zal dan voor 6 uur ingesteld staan. Dan worden de normale instellingen terug gevolgd.

=> Dit wordt verder concreet besproken.

## 5.5 Specificaties voor de filtering

In het BiBa onderzoek van VITO werd vermeld dat zelfs in klaslokalen waar voortdurend geventileerd wordt, de concentraties formaldehyde soms nog de normen overschrijden. Er zal hiervoor dan ook constant gefilterd worden.

Indien de ventilatie niet aan zou staan, moet de filter het meeste zuiveren omdat de lucht dan in het huis blijft circuleren en de concentratie pollutanten blijft stijgen. In een gemiddelde woonkamer van 100 m<sup>3</sup> dienen minstens 3

verwarmingstoestellen te staan (Zie verder bij Specificaties voor verwarming). In de woonkamer is er de optie voor 1, 2 of 3 bio-filters. Een 3e is overbodig, maar kan om esthetische redenen nog steeds gekozen worden.

Bij filtering tegen maximaal debiet van 80 m<sup>3</sup>/h verkrijgt men volgende resultaten:

- Indien er slecht 1 filter wordt gebruikt, wordt de lucht in de woonkamer in een uur en 25 min volledig gefilterd. Dit wil zeggen dat de lucht per dag 17 keer gefilterd kan worden.

- Indien er 2 filters worden gebruikt, wordt de lucht in de woonkamer in 37 minuten ververs. Dan kan de lucht 38 keer in een dag gefilterd worden.

- De lucht van een huis van 200 m<sup>2</sup> kan door 2 filters in 3 uur volledig gefilterd worden.

- De gemiddelde concentratie formaldehyde gemeten in woningen is 24 µg/m<sup>3</sup>, de filter heeft een SPE van 60 % waardoor er na 1 maal filteren 9,6 µg/m<sup>3</sup> overblijft. Deze concentratie ligt onder de norm van < 10 µg/m<sup>3</sup>.

## 5.6 Instellingen

Bij de installatie kan het systeem op 2 verschillende manieren worden ingesteld op de master-unit:

### 5.6.1 De continue filtering met CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatie

Deze is interessant voor mensen die voortdurend thuis zijn, of voor mensen die omwille van allergiën zeer gevoelig zijn aan de luchtkwaliteit. Hierbij zal de binnenlucht voortdurend gefilterd worden. Dit kan tegen een debiet dat zelf bepaald wordt. Indien er verscheidene kamers zijn waar de filters geïnstalleerd zijn, kan een verschil in debiet bepaald worden per kamer. De ventilatie wordt bepaald door de CO<sub>2</sub>-sensor en de vochtigheidsmeter. Hierdoor is er voortdurend een zuivere en aangename lucht in huis. In volgend schema staat een mogelijke instelling van de continue filtering. De ventilatie gebeurt volledig CO<sub>2</sub>-gestuurd en is grotendeels afhankelijk aan de hoeveelheid mensen die in het huis verblijven. Voor mensen die heel de dag thuis zijn of mensen die allergisch zijn aan bepaalde stoffen in de lucht kan de filtering voortdurend op maximale capaciteit draaien.

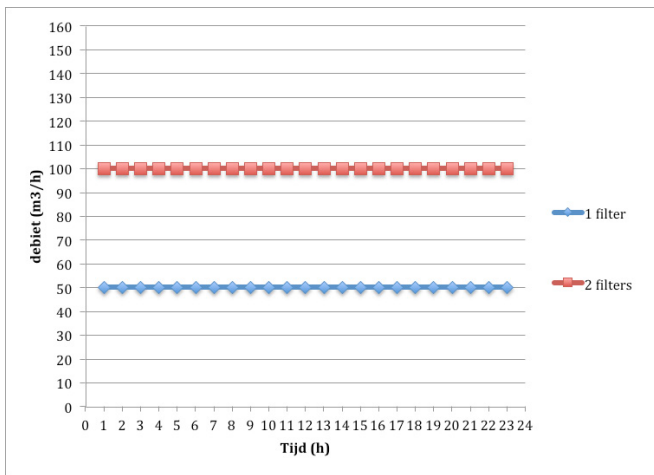


Fig. 14: schema voor continue filtering

### 5.6.2 Daggestuurde filtering met CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatie

Hier moet de filtering ingesteld worden per tijd. Uw leefpatroon is, over het algemeen, in het weekend anders dan tijdens werkdagen. Uw filtratiebehoefte zal logischerwijze verschillen, afhankelijk van uw leefpatroon. Zo wordt de luchtfiltering net voor en tijdens de aanwezigheid van de gebruikers ingesteld. Deze manier zorgt voor een energie-efficiënte filtering van de binnenlucht. Zo zal de lucht steeds optimaal zijn op de moment dat de personen thuis aankomen en als ze aanwezig zijn.

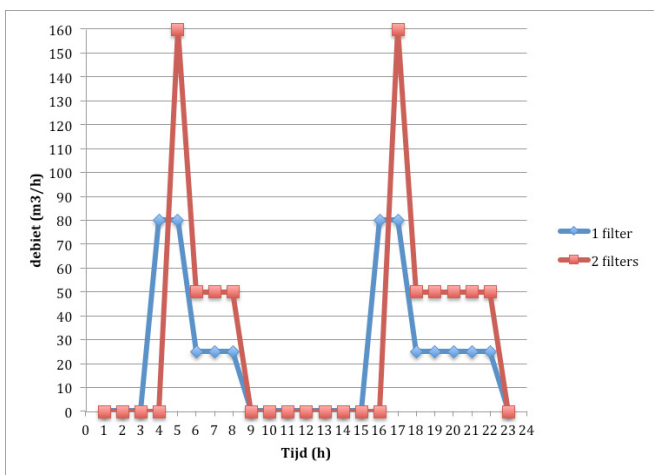


Fig. 15: schema voor daggestuurde filtering

Hier is een voorbeeld voor de dagindeling van de filtering in het systeem te zien. In dit voorbeeld zijn de mensen aanwezig in de woonkamer van 7 tot 9 uur en van 18 tot 23 uur. Het systeem filtert al de lucht die aanwezig is in de ruimte, voor dat de personen binnen komen. Zo lang de personen aanwezig zijn zal de filtering tegen een lager debiet verder verlopen. De ventilatie zal in werking treden van zodra er personen aanwezig

zijn en deze de CO<sub>2</sub>-concentratie laten stijgen boven de grenswaarden. Doordat er nieuwe lucht van buiten komt, is er minder filtering nodig en is er een lager debiet door de filtering nodig.

## 5.7 Beslissingspatroon

### 5.7.1 Ventilatie en filtering

Voor de 2 verschillende types instellingen is op volgende pagina's een beslissingschema weergegeven. Dit schema geeft de verschillende onderdelen en factoren die de ventilatie en filtering bepalen weer. Het geeft ook weer welke factoren prioritair zijn ten opzichte van andere.

Het schema moet als volgt geïnterpreteerd worden:

De vochtigheidssensor in het filterbed meet met een interval van 10 minuten. Indien het resultaat van een meting hoger is dan 25% vochtigheid, gebeurt er niets. Indien de vochtigheid lager is dan 25 %, wordt de ventilator voor de filtering volledig stopgezet en de dompelpomp geactiveerd in het waterreservoir. Zo wordt het filterbed terug bevochtigd. De ventilator voor de filtering is gedeactiveerd tot 3 minuten nadat de irrigatie gestopt is. Deze besturing heeft de hoogste prioriteit om een goede filtering te waarborgen.

Ook de luchtvochtigheidssensor kan de ventilator voor de filtering besturen. Indien er een relatieve luchtvochtigheid lager dan 40 % (standaard, kan anders ingesteld worden) gemeten wordt, stijgt het debiet van de ventilator in de filter met 25 m<sup>3</sup>/h. Dan wordt gewacht tot de volgende meting. Indien de relatieve luchtvochtigheid nog steeds onder de gewenste waarde ligt, wordt weer met 25 m<sup>3</sup>/h debiet gestegen. Indien de gewenste waarde bereikt wordt, werkt de ventilator in de filter weer zoals deze is ingesteld. De sturing van de luchtvochtigheidssensor heeft voorrang op de ingestelde werking van de ventilator in de filter. Dit kan de continue of de daggestuurde filtering zijn. Maar de vochtfilter in het filterbed heeft de hoogste prioriteit en krijgt voorrang op de andere besturingen.

Dit principe geldt voor heel het schema.



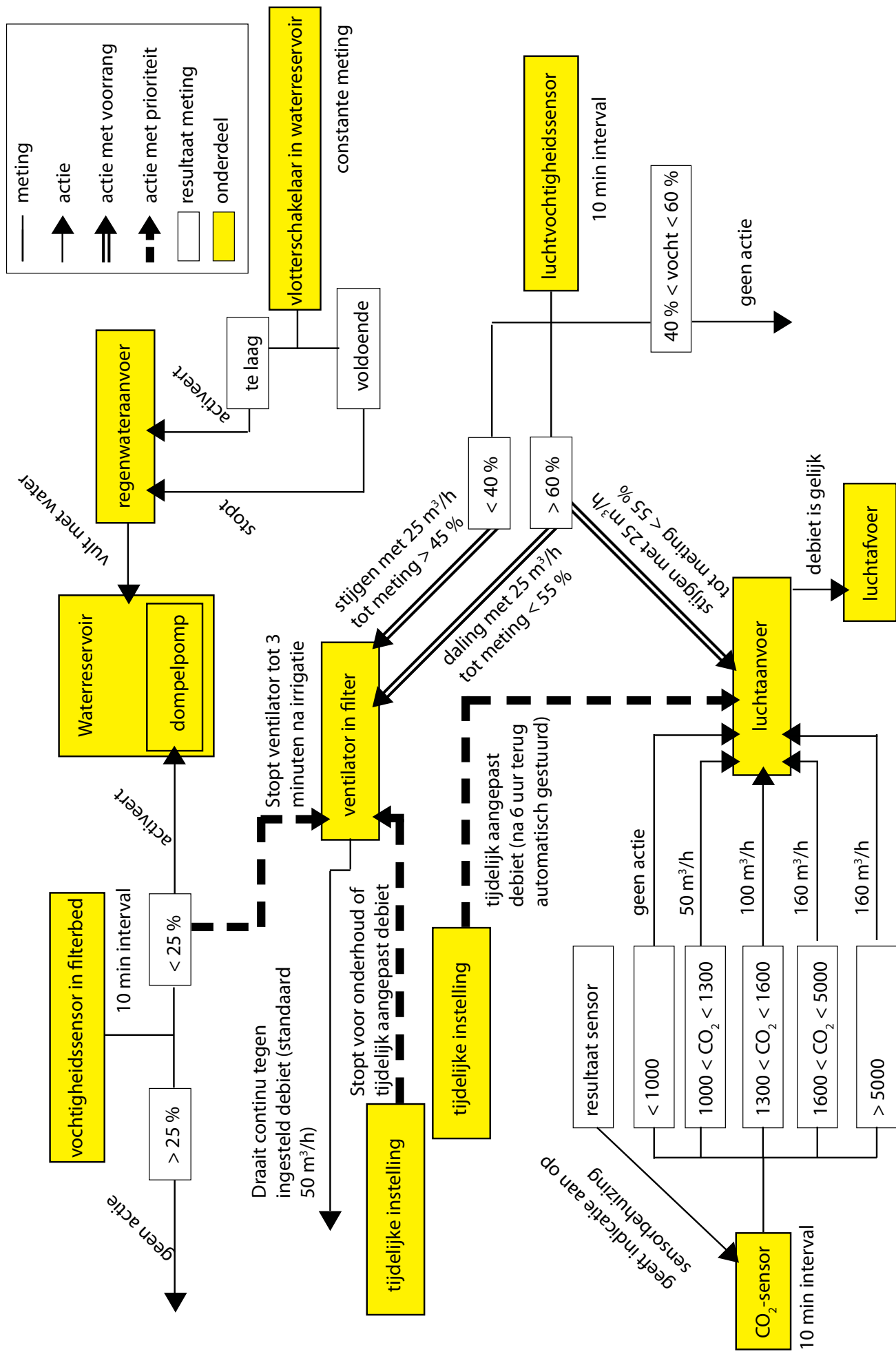


Fig. 16: Beslissingschema continue filtering met CO<sub>2</sub> en temperatuurgestuurde ventilatie

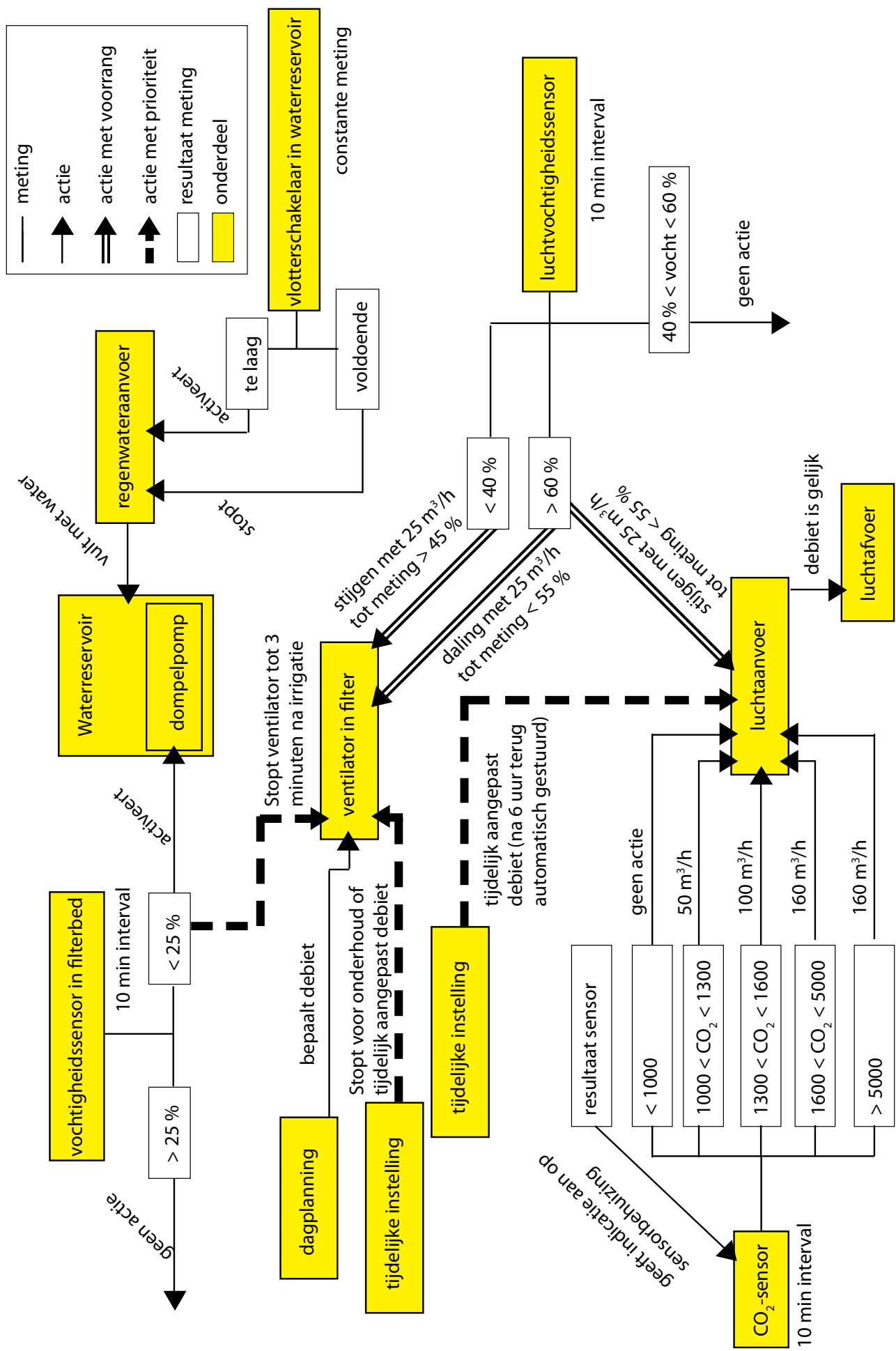


Fig. 17: Beslissingschema daggestuurde filtering en CO<sub>2</sub> en temperatuurgestuurde ventilatie

## 5.7.2 Temperatuur en verwarming

Een extra factor die invloed heeft op de ventilatie, is de temperatuur van binnen en buiten. Op volgende pagina is het beslissingsschema weergegeven voor de kamers waar ventilatie plaatsvindt. In de kamers zonder ventilatie krijgt de verwarming het centraal ingestelde verwarmingsvermogen en hier kan de gebruiker manueel aan de thermostaat de temperatuur accurater instellen naar de nood van die ruimte.

De factoren die invloed hebben op de ventilatie uit vorige schema's blijven prioriteit hebben ten opzichte van de temperaturen. Indien een factor uit vorige schema's een aanpassing doet aan de ventilatie, wordt het vermogen van de verwarming mee aangepast indien de buitenlucht kouder is dan de binnenlucht.

De gewenste temperatuur wordt door de gebruiker ingesteld op de master-unit. Er wordt een temperatuur ingesteld voor overdag en 's nachts. In samenwerking met goede ventilatie moet het systeem niet vaak verwarmen. Indien koude lucht binnenkomt, moet deze echter wel opgewarmd worden. Aan elk verwarmingselement is ook een thermostatische regeling waarmee de gebruiker de temperatuur in elke kamer naar wens kan bepalen.

De verwarming werkt met low H<sub>2</sub>O-convectors. Dit zijn warmwaterconvectoren die tot 10 keer minder water nodig hebben. Door deze kleine hoeveelheid worden ze sneller warm en geven ze veel sneller hun warmte af aan de ruimte. Het water heeft een lagere temperatuur, waardoor het minder vermogen vergt van de ketel. Zo is het systeem goed te combineren met grond- of luchtwarmtepompen.

De afmetingen voor Low H<sub>2</sub>O-convectoren zijn terug te vinden in de catalogi van Jaga. De gegevens die reeds werden gebruikt zijn afkomstig van de H<sub>2</sub>O-convector type 11. Deze heeft een diepte van 10 cm en een hoogte van 20 cm.

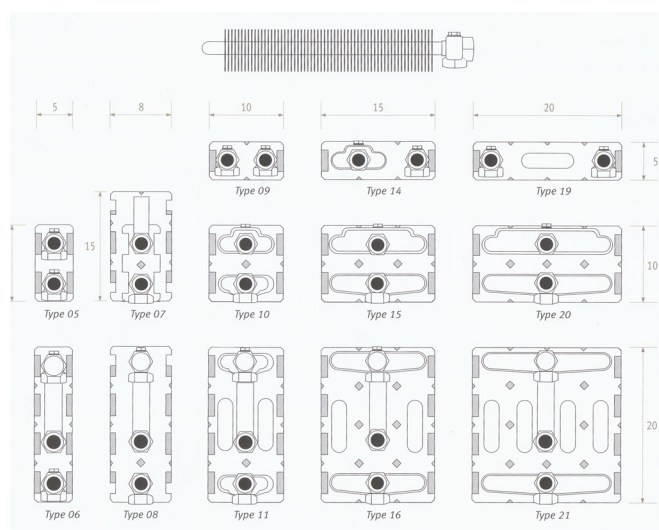


Fig. 18: Afmetingen Low H<sub>2</sub>O-convectoren

Wandmodel Twin_type 11		TWIN POWER																	
		BESTELCODE: TEMW. 030 040 11. 101																	
H		L 040	050	060	070	080	090	100	110	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
030	75/65/20	448	561	673	785	897	1009	1121	1233	1345	1569	1794	2018	2242	2466	2690	2915	3139	3363
	90/70/20	583	729	875	1021	1166	1312	1458	1603	1749	2040	2333	2624	2915	3206	3498	3790	4081	4373
	€	101,00	110,10	116,70	134,20	143,00	151,00	164,80	174,10	182,70	202,90	237,00	255,90	275,50	314,90	337,70	359,50	382,70	402,10
040	75/65/20	506	632	758	885	1011	1138	1264	1390	1517	1770	2022	2275	2528	2781	3034	3286	3539	3792
	90/70/20	658	822	985	1150	1314	1479	1643	1807	1972	2301	2629	2957	3286	3615	3944	4272	4601	4930
	€	105,10	114,80	121,70	139,80	149,10	157,60	171,70	181,50	190,50	212,20	247,30	267,10	287,80	328,00	352,30	375,10	399,10	419,50
050	75/65/20	554	693	832	970	1109	1247	1386	1525	1663	1940	2218	2495	2772	3049	3326	3604	3881	4158
	90/70/20	720	901	1081	1261	1441	1621	1801	1982	2161	2522	2883	3243	3603	3963	4323	4684	5044	5404
	€	109,50	119,70	126,90	145,70	155,40	164,30	178,80	189,20	198,50	221,60	257,60	278,50	300,00	341,40	366,90	390,70	415,70	436,90
060	75/65/20	598	747	896	1046	1195	1345	1494	1643	1793	2092	2390	2689	2988	3287	3586	3884	4183	4482
	90/70/20	777	971	1164	1359	1553	1748	1941	2135	2330	2719	3106	3494	3883	4272	4660	5047	5436	5824
	€	113,90	124,70	132,20	151,70	161,80	170,90	186,00	197,00	206,70	231,20	268,20	290,10	312,50	354,90	381,90	406,70	432,70	454,90
070	75/65/20	636	795	954	1113	1272	1431	1590	1749	1908	2226	2544	2862	3180	3498	3816	4134	4452	4770
	90/70/20	826	1033	1240	1446	1653	1859	2066	2272	2479	2892	3305	3719	4132	4545	4958	5371	5784	6198
	€	118,20	129,50	137,20	157,30	167,90	177,50	193,00	204,40	214,50	240,70	278,50	301,40	324,70	368,10	396,50	422,40	449,30	472,40
090	75/65/20	703	879	1055	1231	1406	1582	1758	1934	2110	2461	2813	3164	3516	3868	4219	4571	4922	5274
	90/70/20	913	1142	1370	1599	1826	2055	2283	2512	2740	3196	3654	4109	4567	5024	5480	5937	6393	6850
	€	126,40	138,80	147,00	168,50	180,00	190,30	206,70	219,30	230,10	259,00	298,80	323,70	348,90	394,20	425,40	453,10	481,90	506,90

Fig. 19: Afmetingen en bijhorende vermogens Low H<sub>2</sub>O-convectoren



## 5.8 Sensoren en indicaties

### 5.8.1 Vochtigheidsgehalte in het filterbed

De meting in het filterbed kan door 2 verschillende sensoren worden gedaan. Zowel de volumetrische vochtigheid of het vochtigheidsgehalte is een goede indicatie voor het bepalen van de irrigatie. Voor een betrouwbare meting dient de sensor die het volumetrisch vochtigheidsgehalte meet, een verschil te meten van 0,02 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Het volumetrisch vochtigheidsgehalte moet rond de 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> liggen voor een goede filtering. De sensor die het vochtigheidsgehalte meet, dient een accuraatheid van 2 % te hebben. Het vochtigheidsgehalte in het filterbed ligt rond de 30 % voor een goede werking.

=> Decagon devices is een professioneel bedrijf dat wetenschappelijke instrumenten ontwikkelt. Ze zijn voornamelijk gericht op water-, warmte- en lichtmetingen in en rond de plantenbodem. Ze ontwikkelen sensoren voor de agrarische sector, de tuinbouw en de consumentenmarkt. Eén van hun ontwikkelingen is de 'EC-5 soil moisture sensor'. Deze sensor voldoet aan de eisen die werden opgesteld voor het systeem. Het is een low-cost sensor die de volumetrische waterinhoud meet door middel van de diëlectrische permittiviteit in de bodem. Het is mogelijk de sensor voor een bepaalde bodem te kalibreren, waardoor de sensor tot ± 1 % nauwkeurig meet.

De data kunnen worden gelezen door bestaande apparaten als de EM5b analog data logger van Decagon devices, maar voor het systeem is dergelijk gesofistikeerde data logger niet nodig. Een eenvoudige kaart waar de analyse op gebeurt, is voldoende. De kaart maakt gebruik van een softwareprogramma dat in verbinding staat met het irrigatiesysteem en de master-unit.



Fig. 21: Bodemvochtigheidssensor Decagon

### 5.8.2 Waterniveau in de hydrocultuur

De planten in het systeem leven in hydrocultuur, waardoor de wortels in een bassin met water hangen. Dit water wordt ook gebruikt door het irrigatiesysteem om het filterbed vochtig te houden. Een deel van dit water wordt opgenomen door de planten en een deel door de lucht dat het filterbed passeert. Hierdoor moet er op tijd water worden toegevoegd. Dit kan door middel van een elektronische vlotter, die het waterniveau meet. Indien het water zakt, zal hij een pomp in een regenwaterput activeren en via een klein buisje het water tot in het reservoir pompen.



Fig. 22: Elektronische vlotter

Een eenvoudigere methode is een vlotterschakelaar, die verbonden is met het buisje dat water aanvoert. Hierbij staat er druk op het water en van zodra het waterniveau zakt, zal door middel van een mechanische beweging van de vlotter het water uit het buisje vloeien en zo het reservoir terug bijvullen. Dit type vlotter kan ook een elektronisch signaal doorsturen indien het regenwater op zou geraken.



Fig. 23: Vlotterschakelaars

Het buisje kan een diameter van enkele millimeters hebben, waardoor het samen met de nodige elektrische kabels ingebouwd kan worden. Dit zorgt ervoor dat er niet nog extra waterleidingen moeten gelegd worden. Een PTFE-slang met een doorsnede van 4 mm is voldoende voor het systeem.

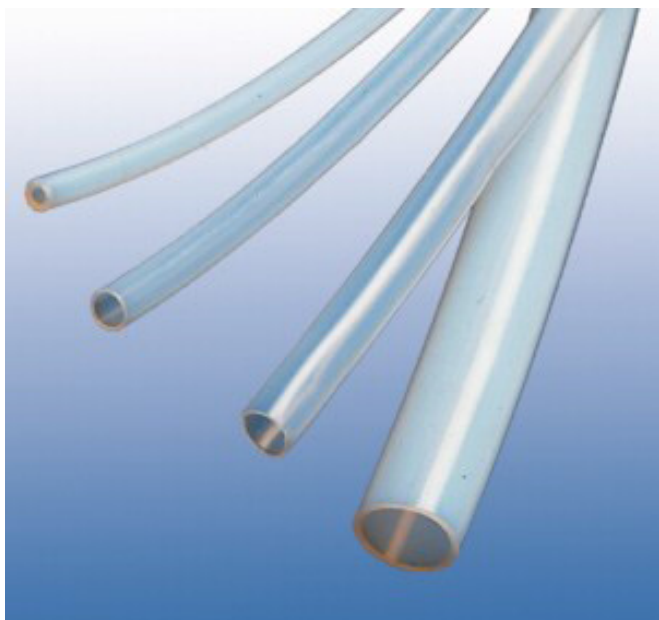


Fig. 24: PTFE-buizen

Voor geval dat er geen mogelijkheid is voor het gebruik van regenwater, kan er gewerkt worden met grondwater en desnoods zelfs met leidingwater. Er zal indien er leidingwater gebruikt wordt echter wel een ontharder geïnstalleerd moeten worden om een te hoge concentratie kalk te voorkomen.

Indien er met regenwater gewerkt wordt, kan het reservoir leeg maken en zal de vlotterschakelaar een signaal doorsturen naar de master-unit. Hier zal de gebruiker gewaarschuwd worden dat het systeem handmatig moet worden voorzien van water. Het is ook mogelijk om de regenwaterput volautomatisch bij te vullen met leidingwater.

In deze situatie is het aangewezen dat het waterpeil af te lezen is op de unit zelf. Het waterpeil kan op verschillende manieren weergegeven worden naar de gebruiker toe. Er zijn eenvoudige watermeters die werken door middel van een vlotter en een indicatie van het waterpeil weergeven op een geijkte lijn. Of de eerder weergegeven elektronische vlotter kan een signaal geven dat wordt omgezet naar een weergave van het waterpeil op een display of een andere soort indicator (vb. lichtsignaal). Doordat er wordt gewerkt aan een milieuvriendelijk product is er gekozen voor het niet-elektronische principe.



Fig. 25: Waterniveau indicator met vlotterprincipe

### 5.8.3 Temperatuursensor voor binnen- en buitentemperatuur

Er zijn enorm veel temperatuursensoren op de markt die betrouwbaar zijn. Verdere studie is hier niet voor nodig. In het systeem zit een temperatuursensor die elektronisch de meetwaarden doorgeeft aan de master-unit. De binnentemperatuursensor bevindt zich in de behuizing met de vocht- en CO<sub>2</sub>-sensor. De buitentemperatuursensor bevindt zich in de luchtaanvoerbuis door de gevel. Hier geeft de sensor een goede indicatie weer van de luchttemperatuur die wordt aangezogen.

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

Een CO<sub>2</sub>-sensor meet het CO<sub>2</sub>-gehalte in de kamers waar de gebruikers het meeste komen. Vervolgens worden de gegevens via het elektriciteitsnet doorgegeven aan de master-unit. Aan de hand van de gegevens wordt vanuit de unit ventilatie geregeld. Het principe is gelijkaardig aan deze van bestaande systemen, zoals bijvoorbeeld 'de oxygen' van Jaga. De CO<sub>2</sub>-sensor is geplaatst in een behuizing tegen een muur in de kamer. Hieronder is een voorbeeld van zo' n CO<sub>2</sub>-sensor van Catec een gespecialiseerd bedrijf in meetinstrumenten.

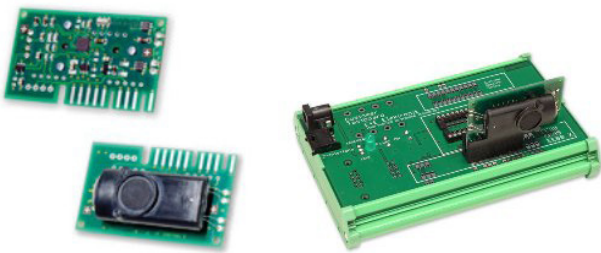


Fig. 26: EE-89 GR CO<sub>2</sub>-sensor

Fig. 27: EE-89 testboard GR CO<sub>2</sub>-meting

### 5.8.5 De luchtvochtigheidsensor

Deze sensor meet de luchtvochtigheid in de kamer waar er gefilterd wordt met het nieuwe systeem. Ook in de vochtige kamers, waar de lucht wordt afgevoerd via de centrale afvoerkanalen, wordt aangeraden een vochtigheidssensor te plaatsen. Zo zal de vochtige lucht na het nemen van een douche onmiddellijk vervangen worden door aangename lucht. De gegevens worden via het elektriciteitsnet doorgegeven aan de master-unit. Vervolgens regelt de unit de ventilatie en de filtering aan de hand van deze gegevens. Ook dit principe is gelijkaardig aan deze van bestaande systemen. Er zijn kleine modules zoals de EE03 van Catec die relatieve vochtigheid en temperatuur meten.



Fig.28:EE-03GRvochtigheidentemperatuursensor

De vorige 3 sensoren worden, naar gelang de behoefte van een bepaalde kamer gecombineerd in één behuizing. Deze sensor-unit werkt

draadloos of met netsnoer. Dit wordt bepaald door de gebruiker zelf. Deze optie is er omwille van mogelijke moeilijkheden bij het plaatsen van nieuwe elektriciteitskabels bij verbouwingen. Zo wordt het overbodig om nieuwe kanalen te voorzien naar elke sensor-unit. Deze units zullen echter wel op batterijen werken die na verloop van tijd vervangen moeten worden. De keuze voor elektriciteitskabels is er omwille van de doelgroep. Er zijn heel wat mensen die draadloze verbindingen vermijden omwille van mogelijke stralingen. Er wordt verwacht dat een deel van de doelgroep zich intensief bezig houdt met hun gezondheid en omwille van deze vrees omtrent straling voor een kabelverbinding zullen kiezen. De sensoren meten met een standaard interval van 10 seconden. Dit is een standaard interval dat bij verscheidene bestaande systemen gebruikt wordt. Indien een ander interval gewenst is, kan dit bij de installatie geprogrammeerd worden. De unit moet op een hoogte van 2 meter en buiten de luchtstroom van eventuele luchttoevoer geplaatst worden.

### 5.8.6 Fasekoppelaar / netfilter

Heel het systeem werkt op een zelfde elektriciteitsnet om de communicatie te verzekeren tussen de verschillende onderdelen. Voor deze communicatie wordt een netfilter met communicatiemodem geïnstalleerd in de meterkast, vergelijkbaar als deze in het 'oxygensysteem' van Jaga.

### 5.9 Materiaalkeuzes

Voor het systeem worden zo weinig mogelijk schadelijke materialen gebruikt. Voor de behuizing en verschillende units wordt er voornamelijk roestvrij staal gebruikt. Dit is duurzaam materiaal en kan volledig gerecycleerd worden. Voor geluidsisolatie worden gerecycleerde kunststofmaterialen gebruikt. Dit wordt later nog verder besproken. Onderdelen die een grote dikte hebben, maar wel een mooie afwerking nodig hebben kunnen gemaakt worden door middel van structuurschuim spuitgieten met een PE afwerking. Dit is een materiaal dat bestaat uit koolstofmoleculen en zal na gebruik verbrand kunnen worden zonder schade te verichten aan de mens en natuur. Voor kleinere kunststof onderdelen wordt ook PE met de nodig aditieven gebruikt.

## 5.10 De master-unit

De master-unit bestuurt heel het systeem en staat in communicatie met de eindgebruiker. In een gemiddelde woning zal er slechts 1 master-unit zijn voor het hele huis. Indien het systeem in een groter gebouw geplaatst wordt, kunnen de ruimtes opgedeeld worden indien de noden hier verschillen. Zo kan er bijvoorbeeld per verdieping een master-unit geplaatst worden die het systeem

voor die specifieke verdieping bestuurt. Er is reeds een overzicht gegeven over hoe de communicatie verloopt en hoe de beslissingen binnen het systeem genomen worden. Ook is er al een overzicht gegeven van de mogelijke instellingen. Hier volgt een schema van de interface van de master-unit. Het gebruik van de interface volgt in een latere fase.

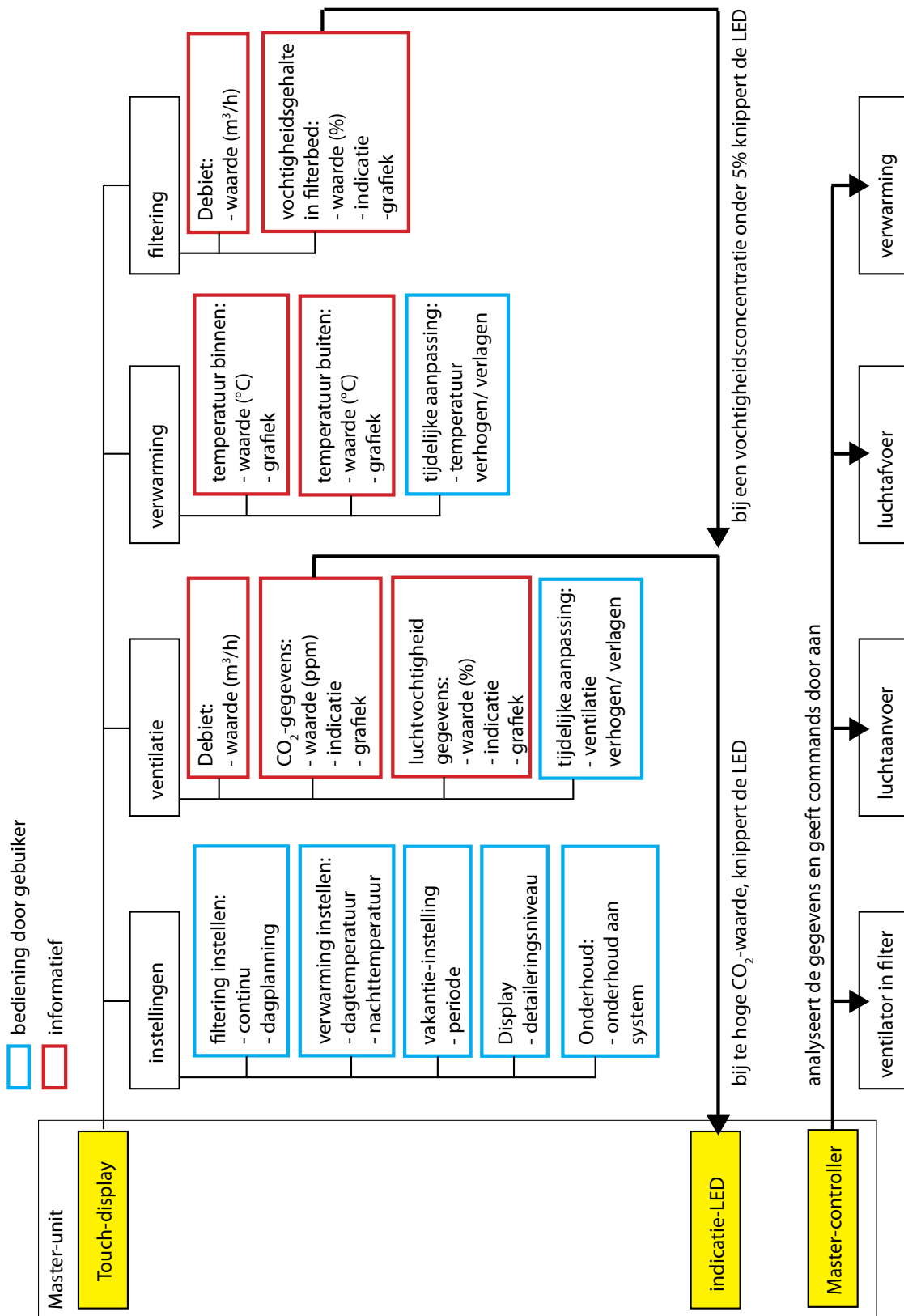


Fig 29: Beslissingsschema verwarming



## 5.11 Planten

Uit onderzoeken zijn verscheidene planten gevonden die een betere filtering bieden dan andere. Enkele hiervan zijn Areca Palm, Bamboe Palm, Boston Fern, Dracaena, Dwars Date Palm, English Ivy, Ficus Alii, Lady Palm, Peace Lilly, Rubber Plant, ...

Op de site van kamerplantonline zijn alle soorten planten terug te vinden, zowel voor in een grondbodem als planten voor in hydrocultuur. Zo worden er Spathiphyllum, of beter gekend als peace lilly verkocht voor hydrocultuur met een bodemdiameter van 15 cm en diepte van 19 cm. Ook de Hedera Algeriensis of klimop is met de zelfde bodemafmetingen te verkrijgen. Dit zijn beide uiterlijk interessante planten waarmee gezocht kan worden naar een mooi design van het systeem. Deze planten kunnen tegen temperatuurschommelingen en zullen niet veel last vertonen van de convectiewarmte die maximaal 40° C bedraagt.



Fig. 30: Hedera Algeriensis

Fig. 31: Spathiphyllum (peace lilly)

## 5.12 Aanvoerbuiz

Er zijn verschillende soorten aanvoerbuizen op de markt die verder niet hoeven geoptimaliseerd te worden. Zo zijn er flexibele buizen en starre buizen die geluid verspreiden in de spouw van de gevel. De keuze van de aanvoerbuiz wordt verder overgelaten aan de installateur van het systeem. Deze kan een goede inschatting maken welke aanvoer voor bepaalde situaties het beste is. Het type aanvoer bepaalt ook vaak de muurrooster aan de buitenkant van de gevel. Door de gebruiker bestaande producten te laten kiezen is er voor hem een bredere keuze aan muurroosters.

Hier is een aanbod van aanvoerbuizen en muurroosters weergegeven van de producent Jaga.



Fig. 32: Aanvoerbuizen en muurroosters Jaga

## 5.13 Filters

De natte en de droge filter zijn reeds uitgelegd. In het systeem zijn nog 2 extra filters noodzakelijk. Een pré-filter is nodig voor een groffe filtering van de buitenlucht die door de gevel wordt aangetrokken. Grote stofdeeltjes en eventueel ongedierte dat door de gevelrooster is geraakt

worden hier in opgevangen. Het beschermt op deze manier de ventilator in de unit en zorgt ervoor dat deze een langere levensduur heeft. De filter bestaat uit een dunne stof en kan in elke vorm verkregen worden. Een voorbeeld is op volgende afbeelding te zien.



Fig. 33: Groffe filter in Oxygen-unit van Jaga

De ventilator-unit voor de filtering zal de droge filtering bevatten. Hier zal 100g actieve kool in komen. Voordat de lucht hier door passeert, zal de lucht eerst gefilterd worden op fijn stof, op deze manier zal de actieve kool het fijn stof niet moeten opnemen en zal deze minder snel beladen zijn. Als fijnstoffilter wordt gekozen voor de Aerofil fijnstoffilter. Dit is een statisch geladen fijnstoffilter die dankzij zijn geladen toestand een grotere doorlaat kan hebben. De goede doorlaat resulteert in een lagere tegendruk op de ventilator. Hoe minder tegendruk van het hele systeem, hoe kleiner en ook stiller de ventilator kan zijn. (Aerofil)

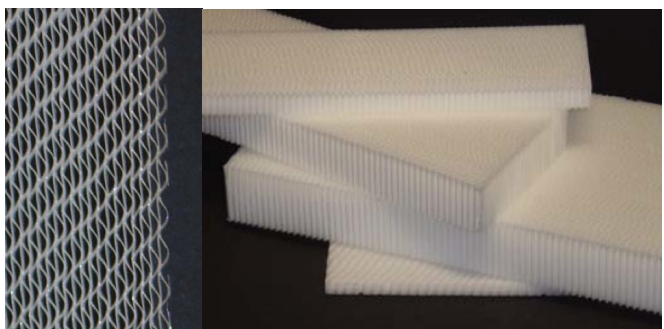


Fig. 34: Aerofil fijnstoffilter

## 5.14 Ventilatoren en geluidsisolatie

Voor het systeem is gezocht naar ventilatoren die genoeg tegendruk kunnen produceren om door het filterend bed te geraken, voldoende debiet kunnen produceren en die een geluid produceren dat zo laag ligt dat het grotendeels gedempt kan

worden.

Het filterbed in het onderzoek van NYSERDA heeft een tegendruk van 75 Pa. Hierbij was het filterbed 20 cm dik. Tijdens het onderzoek waren er niet voldoende middelen om de tegendruk in het filterbed van het nieuwe concept te testen. Met de cijfers van het NYSERDA onderzoek kan echter wel een schatting gemaakt worden. De tegendruk in het filterbed van het nieuwe concept wordt geschat op 60 Pa.

EbmPapst is een professioneel bedrijf dat alle soorten ventilatoren produceert. Zij hebben voor het nieuwe concept de ideale ventilator. De RG 160-28/12 NM is een compacte centrifugaal ventilator die voldoet aan alle eisen. (ebmpapst) De ventilator heeft een flexibele software om te voldoen aan elke mogelijke applicatie.



Fig. 35: RG 160-28/12 NM

Hier is de kracht van de ventilator af te lezen op een schema. Hij kan een debiet van 100 m<sup>3</sup>/h produceren bij een tegendruk van 60 Pa.

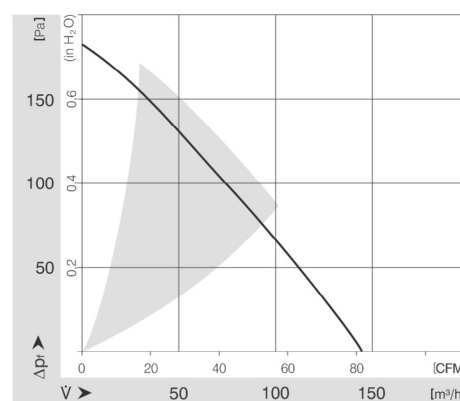


Fig. 36: curve ventilator

De ventilator produceert bij volle toeren 56 dB. Het systeem zal zelden tegen dit debiet moeten werken. indien dit gebeurd zal een groot deel van het geluid geabsorbeert moeten worden door de behuizing. Voor het ontwerp is er uitgegaan van de Oxygen-unit van Jaga. Hierbij wordt de ventilator volledig afgesloten met absorberende materialen.

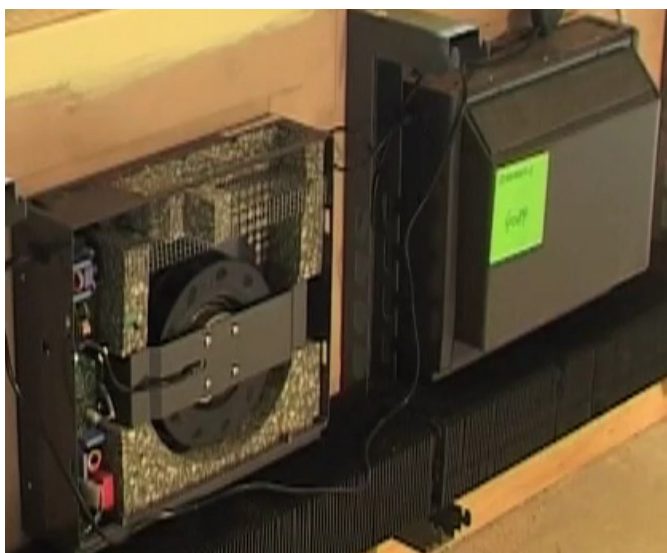


Fig. 37: Oxygen-unit geluidsisolatie Jaga

Voor het isolerende materiaal kan gebruik gemaakt worden van gerecycleerde materialen. In de bijlage zit een productfiche van een geluidsisolerende schuimstof van Doc acoustics. Deze heeft een uitstekende absorberende werking en wordt in de luchtaanvoer-unit en de ventilator-unit voor de filtering gebruikt.

Als extra geluidsisolatie worden er langs de binnenkant van de behuizingen ontdreuningsplaten geplaatst. Dit zijn platen die vaak in radiatorkasten worden gebruikt om geluid te dempen. Als er ventilatie in de kast boven een convector wordt geblazen, kan deze kast het effect van een klankkast geven. Hierbij kaatsen de geluidsgolven terug van de wanden van de kast en versterken zo het geluid. De ontdreuningsplaten kunnen dit voorkomen. Een productfiche van zo 'n ontdreuningsplaat van Doc acoustics is terug te vinden in de bijlage.

NOTA: Om de tegendruk in het systeem zo laag mogelijk te houden worden de afmetingen van luchtkanalen afgeleid van het schema van Soler en palau. (S&P) Hieruit kan afgeleid worden hoe breed kanalen moeten zijn voor een bepaalde tegendruk. Het hele dossier met richtlijnen is online te vinden. Op het linkse schema zijn de drukverliezen per debiet, per diameter in ronde kanalen af te lezen en recht zijn de equivalente diameters van rechthoekige kanalen af te lezen om vervolgens het drukverlies links te bepalen.

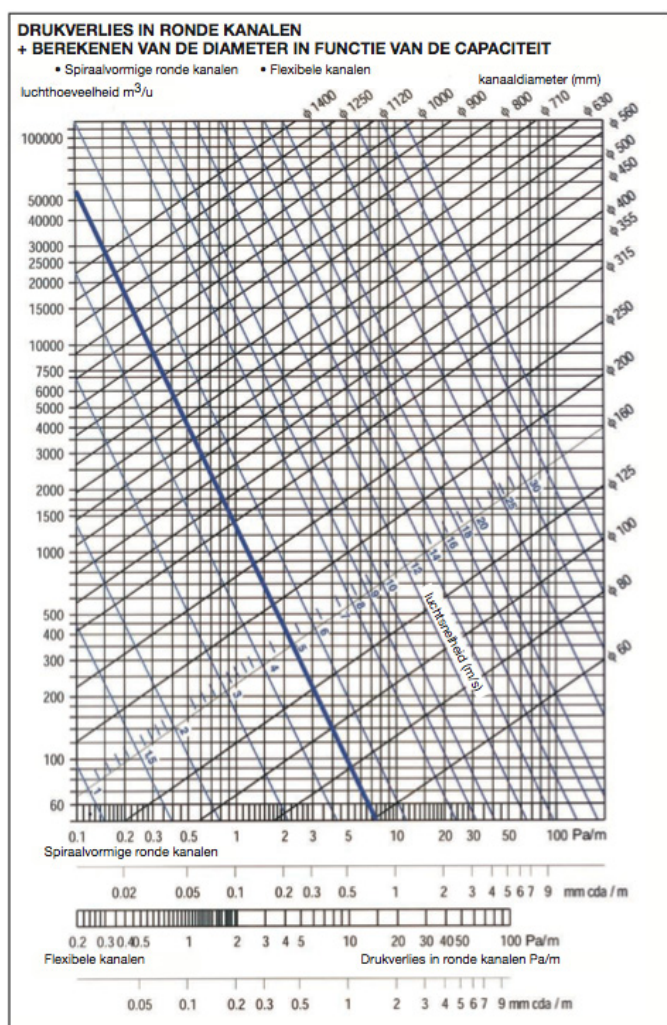


Fig. 38: Drukverliezen in ronde kanalen

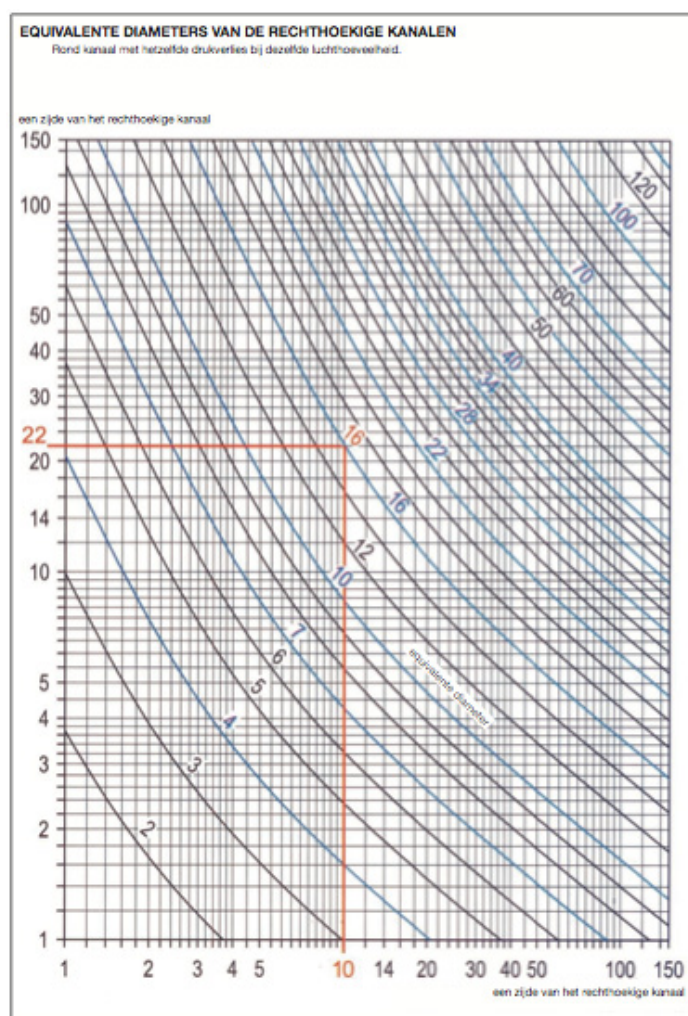
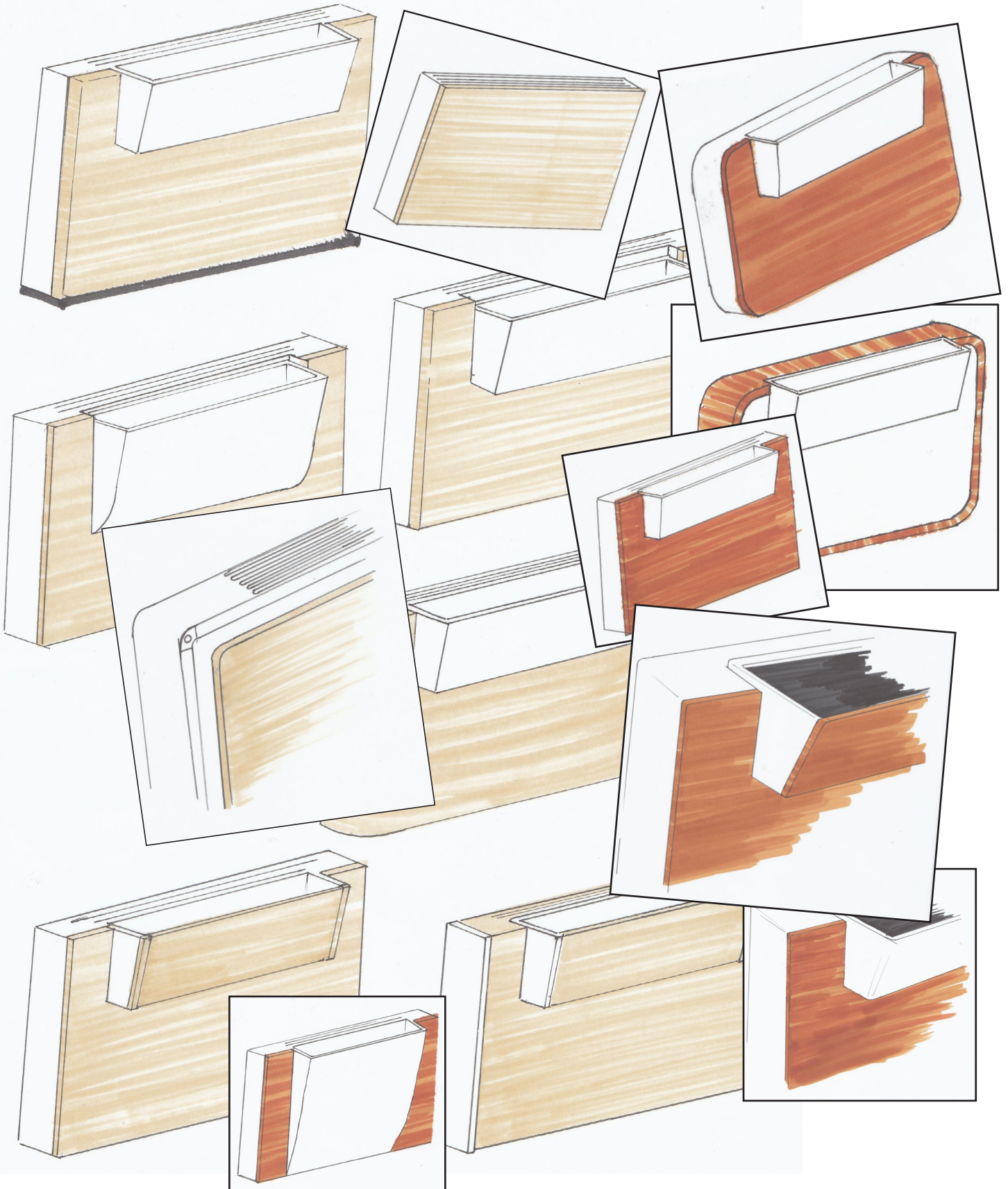


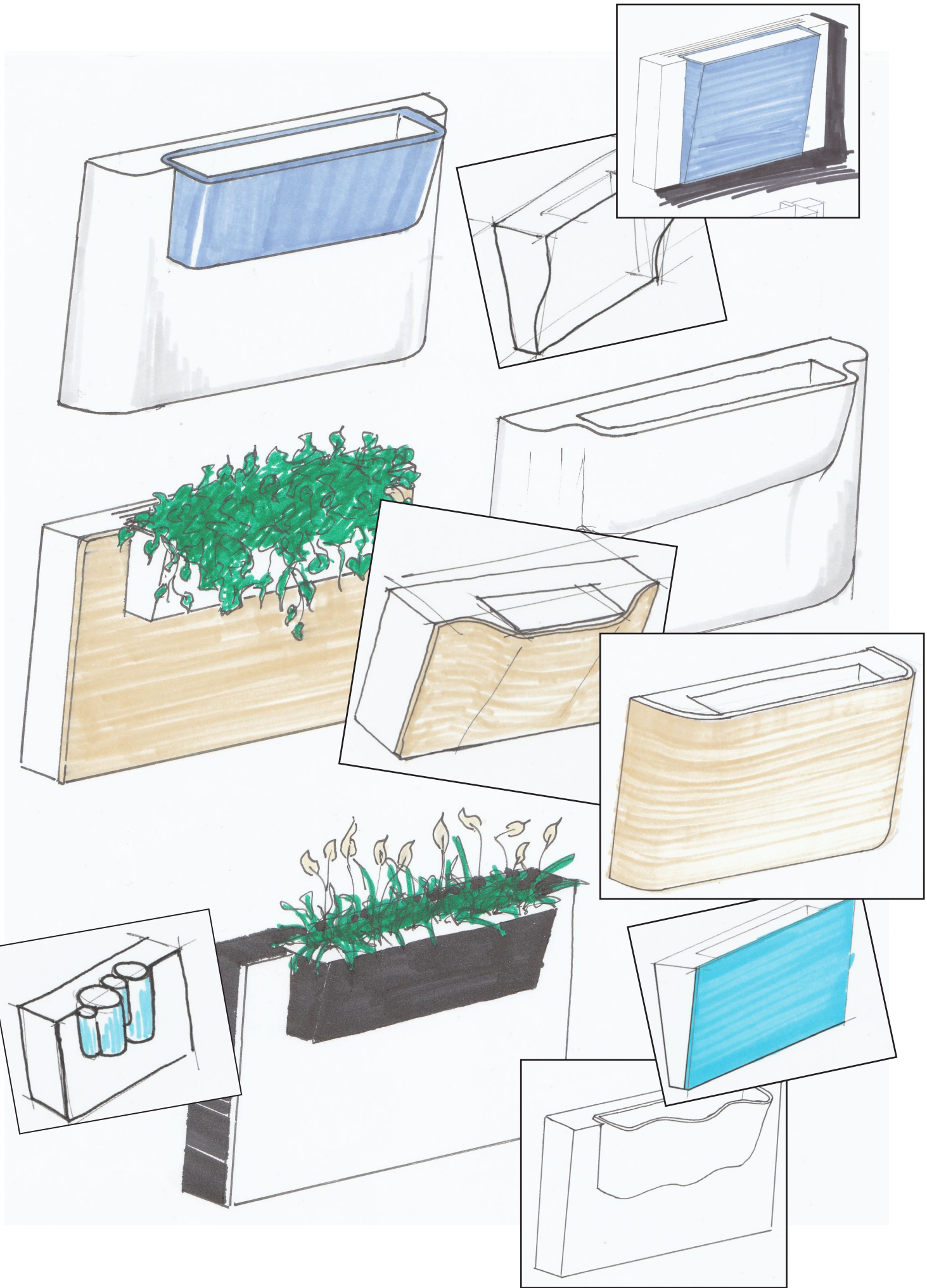
Fig. 40: equivalente diameters van rechthoekige kanalen

## 5.15 Vormstudie

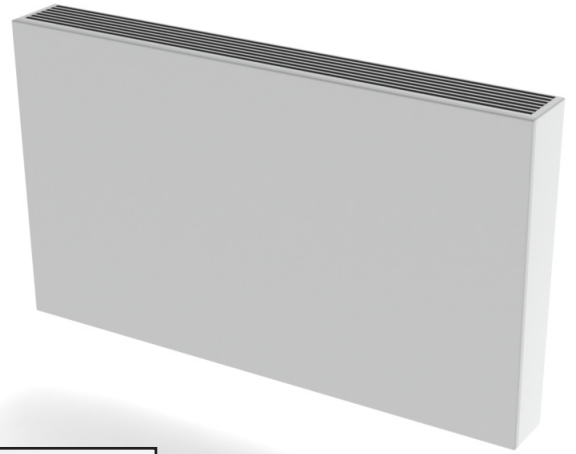
Er is een vormstudie gedaan om een idee te krijgen hoe de behuizing rond de verschillende units past. Er moest ook gezocht worden naar een productenfamilie en dit moet te herkennen zijn aan de vorm van elk product. Er werd veel geëxperimenteerd met het uiterlijk van hout, maar hier werd van afgestapt omwille van de

kritische eigenschappen. In het systeem wordt met water gewerkt en water kan op hout vlekken nalaten. Ook zijn de thermische eigenschappen van hout niet evident. Dit is te verbeteren, maar deze behandelingen zijn duur en niet altijd ecologisch interessant.

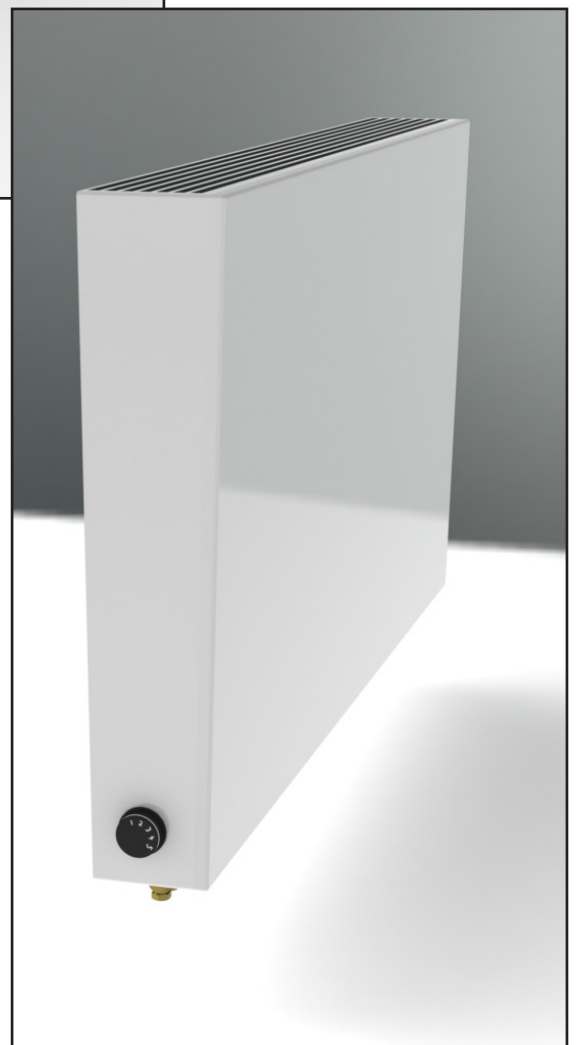




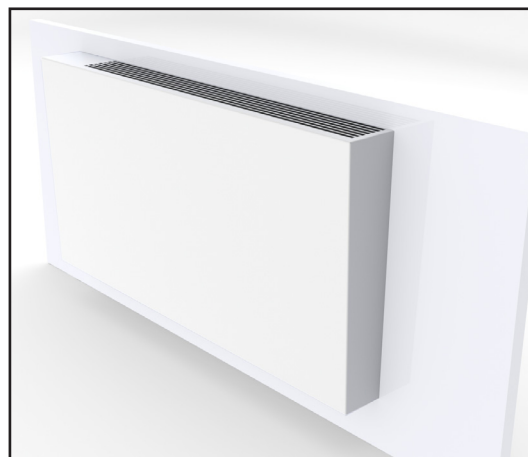
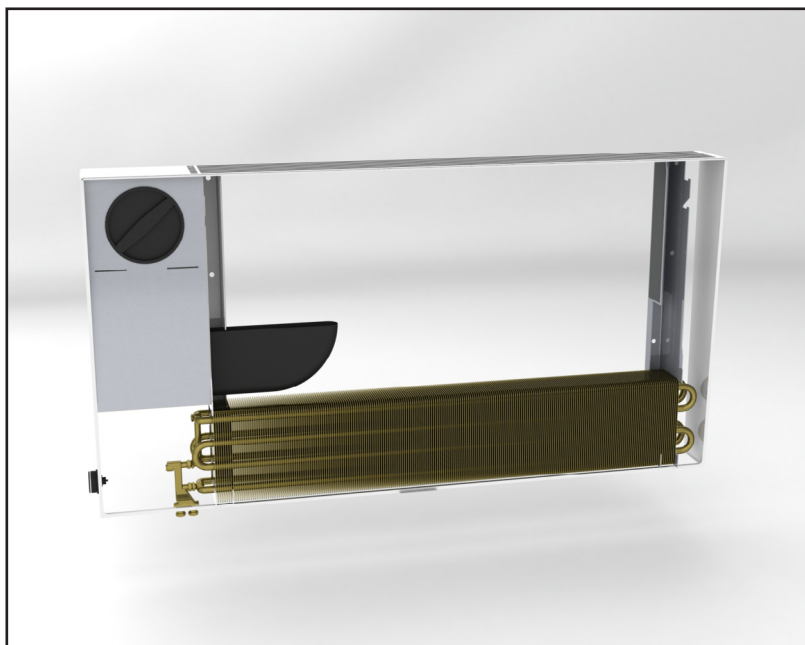
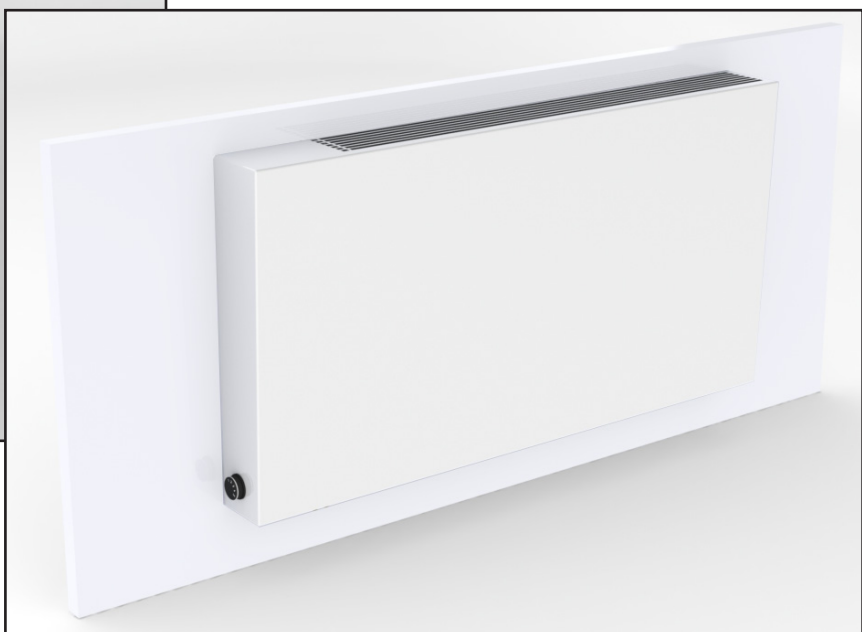
## 6. Eindproduct



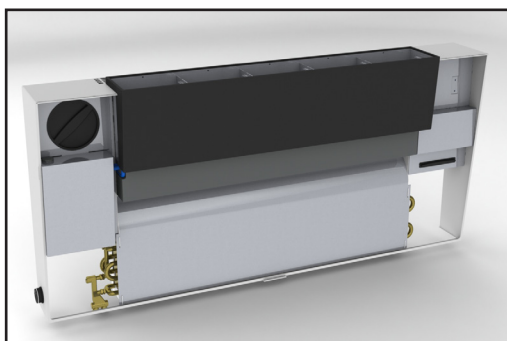
# 7 AERE-1



# 7 AERE-2



# AERE-3





## 6.1 AERE-1

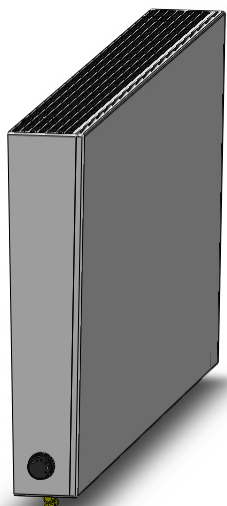


Fig. 41: AERE-1

### 6.1.1 Installatie

Stap 1: De 2 houders worden waterpas in de muur vastgezet op 100 tot 101 cm van elkaar.

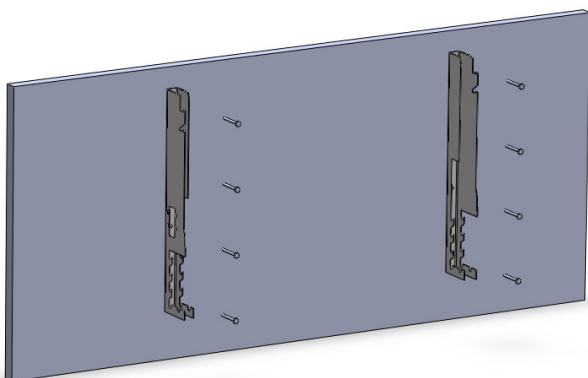


Fig. 42: Stap 1 installatie AERE-1

Stap 2: De low H<sub>2</sub>O-convecteur wordt op de houders geplaatst.

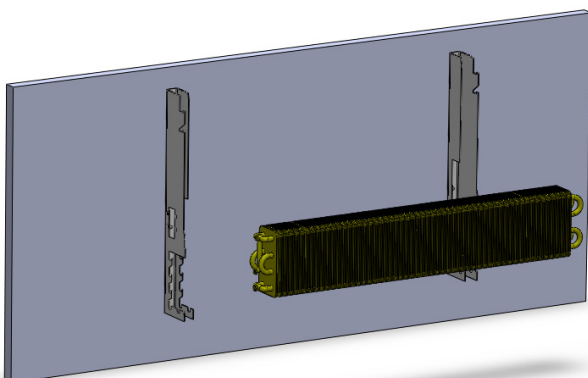


Fig. 43: Stap 2 installatie AERE-1

De convecteur moet recht tot tegen de achterkant van de houder gebracht worden, vervolgens moet deze zakken en komt hij automatisch op de juiste plek te liggen. De convecteur ligt met zijn buitenste lamellen net binnen de buitenste randen van de houders.

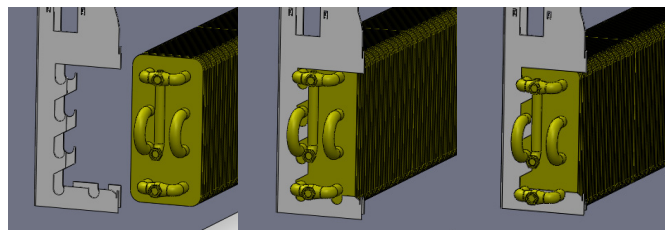


Fig. 44: Detail Stap 2 installatie AERE 1

Stap 3: De achterkant van de behuizing wordt op de houders geplaatst.

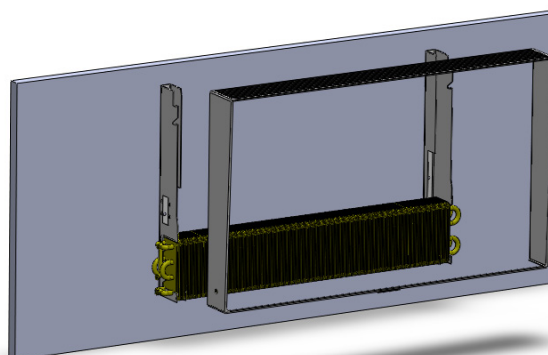


Fig. 45: Stap 3 installatie AERE-1

De achterkant van de behuizing wordt door middel van de rooster op zijn plaats gelegd. De rooster past in de gleuven van de houder. Dit zorgt ervoor dat de behuizing niet naar voor en achteren kan bewegen. De dwarsbalken op de rooster zijn zo geplaatst dat deze juist aan de buitenkant van de houders liggen. Op deze manier wordt voorkomen dat de hele behuizing van links naar rechts beweegt.

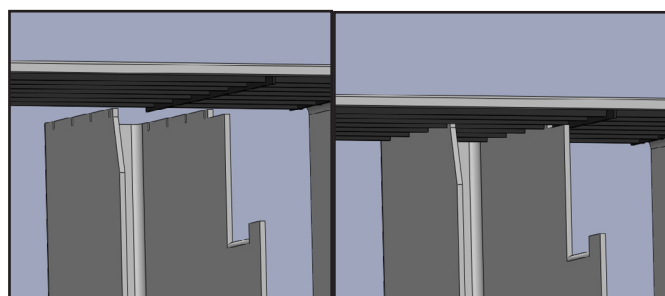


Fig. 46: Detail stap 3 installatie AERE-1

Stap 4: De aansluiting voor de convector en de thermostaat kunnen geplaatst worden.

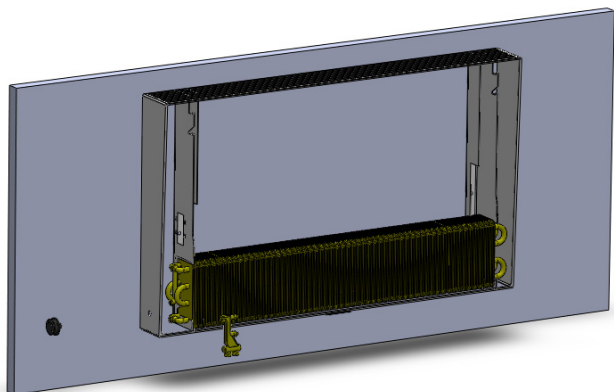


Fig. 47: Stap 4 installatie AERE-1

Stap 5: De voorkant van de behuizing kan geplaatst worden. Deze wordt bovenaan de behuizing op het scharnier gehoffen. Om de behuizing tenslotte te sluiten moet er enkel tegen de plaat gedruwd worden tot de snapverbinding onderaan de behuizing de behuizing sluit.

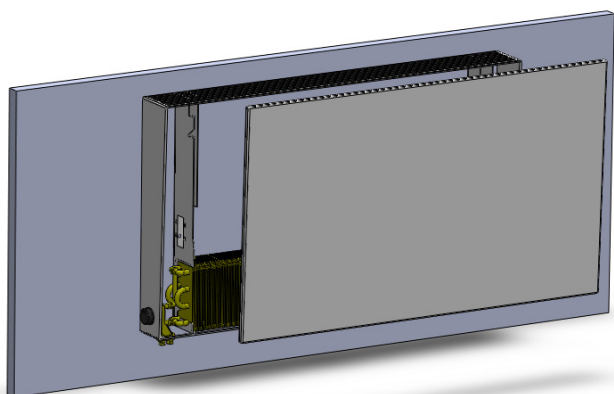


Fig. 48: Stap 5 installatie AERE-1

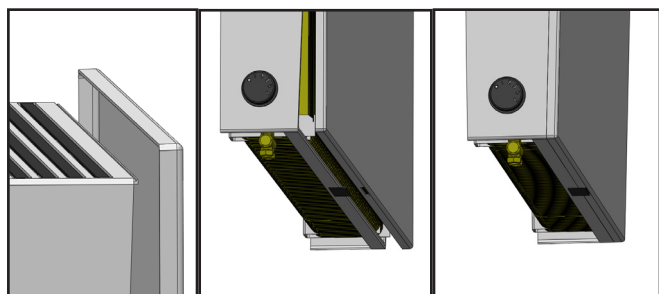


Fig. 49: Detail Stap 5 installatie AERE-1

De AERE-1 is geïnstalleerd en klaar voor gebruik.

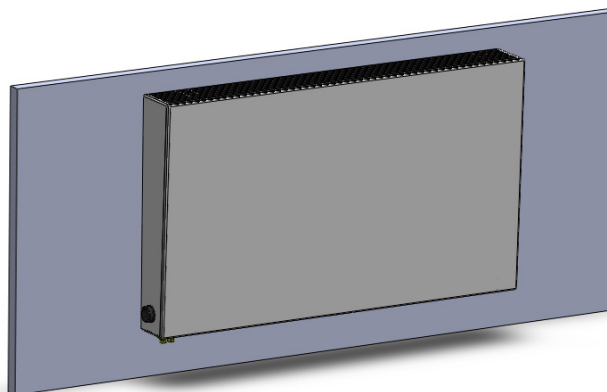


Fig. 50: AERE-1 klaar voor gebruik

### 6.1.2 Gebruik

De temperatuur voor het hele huis wordt ingesteld op de centrale master-unit. Op het verwarmingstoestel is een thermostaat waarmee de gebruiker de temperatuur die dit toestel afgeeft kan regelen. Het principe is net als bij bestaande thermostaten. Er zijn 6 standen, van een gesloten kraan tot volledig open. Bij de open stand komt er maximaal de temperatuur uit die centraal is ingesteld voor het hele gebouw.

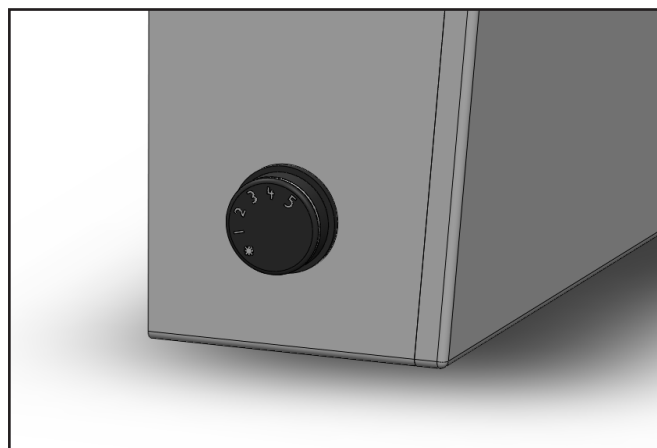


Fig. 51: Thermostaat AERE-1

### 6.1.3 Onderhoud

Het onderhoud verloopt als volgt:

Stap 1: Onderaan de behuizing is in het midden een snapsysteem waarmee de voorkant van de behuizing wordt tegengehouden. Indien men met een schroevendraaien deze snap naar beneden duwt, komt de voorste plaat vanzelf naar voor. Deze plaat hangt bovenaan de behuizing nog vast zodat deze niet tegen de gebruiker of op de grond kan vallen.

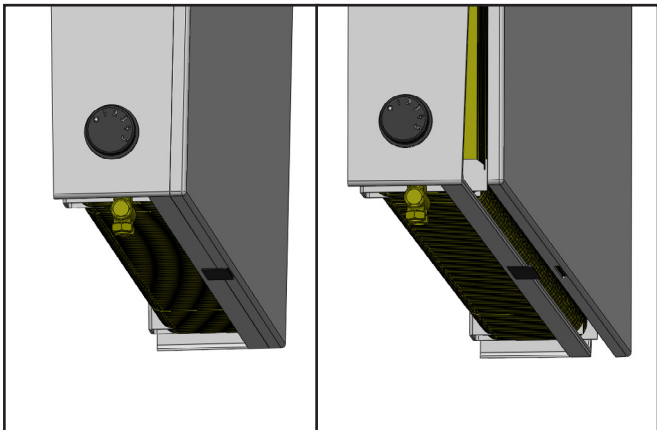


Fig. 52: Stap 1 onderhoud AERE-1

Stap 2: De gebruiker kan zich goed zetten en de voorste plaat van de rest van de behuizing tillen en aan de kant zetten.

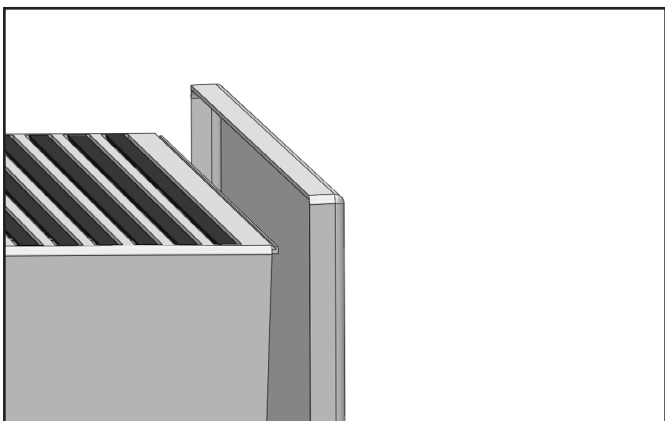


Fig. 53: Stap 2 onderhoud AERE-2

Stap 3: Nadat de voorkant van de behuizing is verwijderd kan de gebruiker aan al de technische componenten. Nu kan hij technische aanpassingen doen bij de verbinding van de Low H<sub>2</sub>O-convector. En hij kan het stof van de convectielamellen verwijderen. Dit zou uiterlijk om de 2 jaar moeten gebeuren om verlies in vermogen te voorkomen.

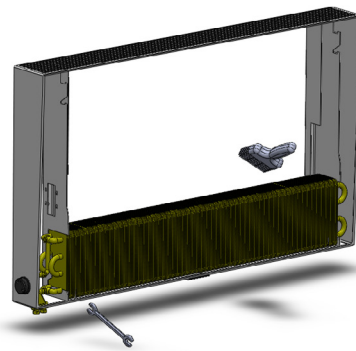


Fig. 54: Stap 3 onderhoud AERE-3

Stap 4: Als het onderhoud voltooid is, moeten de vorige stappen in omgekeerde volgorde herhaald worden. De voorkant wordt bovenaan de behuizing op het scharnier gehoffen. Om de behuizing tenslotte te sluiten hoeft de gebruiker enkel tegen de plaat te duwen tot de snapverbinding de behuizing weer sluit.

### 6.1.4 Werking

De AERE-1 is een eenvoudige convectieverwarming. De aansturing van de Low H<sub>2</sub>O-convector is reeds eerder besproken. Als de lammellen van de convector warm worden, geven ze hun warmte af aan de lucht. Deze opgewarmde lucht stijgt en vormt zo een natuurlijke convectie. De warme lucht stijgt door een afgesloten ruimte, waardoor deze zoals het principe van een schoorsteen, koude lucht langs onder aantrekt en deze langs de lammellen laat passeren om deze lucht op te warmen. Doordat de behuizing van binnen glad is en een beetje breder wordt naar boven toe, is het schoorsteeneffect optimaal. Zo werkt de natuurlijke convectie optimaal.

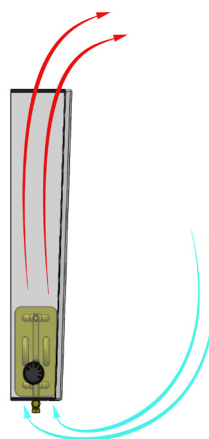


Fig. 55: Natuurlijke convectie

### 6.1.5 Afmetingen

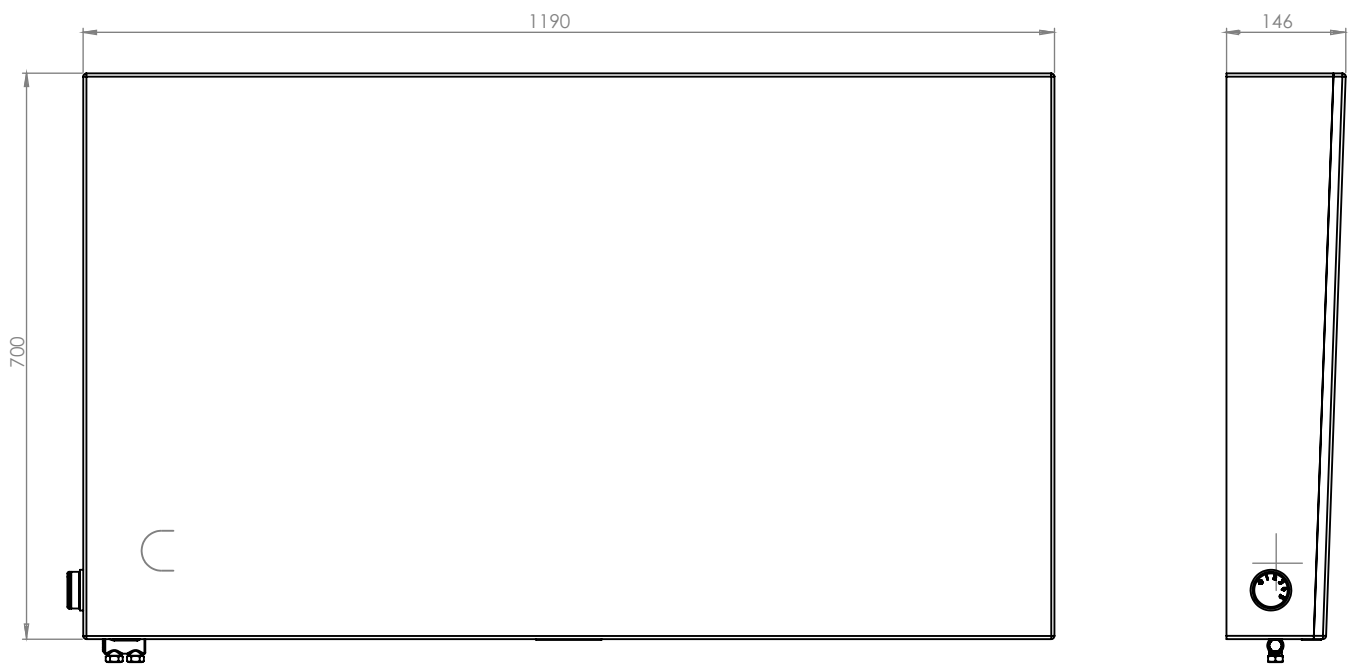


Fig. 56: Afmetingen AERE-1

### 6.1.6 Exploded view

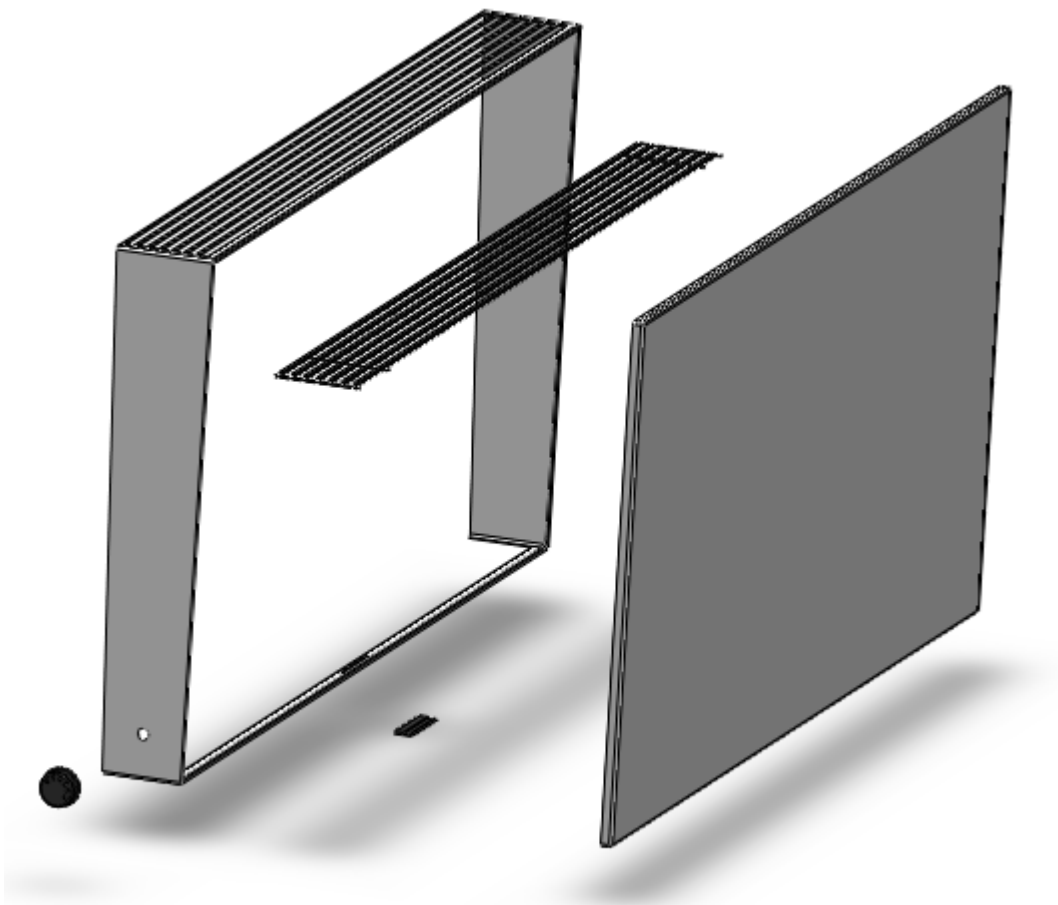


Fig. 57: Exploded view behuizing AERE-1

## 6.2 AERE-2

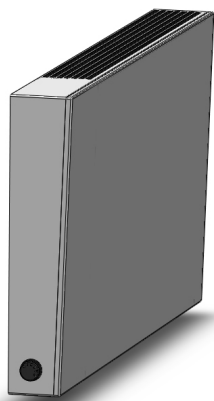


Fig. 58: AERE-2

### 6.2.1 Installatie

De eerste 2 stappen zijn het zelfde als deze bij AERE-1. Met dit verschil dat op de binnenzijde van de houders voor de AERE-2 een stuk dreunplaat is bevestigd. De uitbreiding bij de AERE-2 is de ventilatie-unit die er bij gemonteerd wordt. De installatie wordt verder besproken vanaf stap 3.

Stap 3: Er wordt afgemeten vanaf de houder waar de luchtdoorlaat moet geplaatst worden. Dit kan eenvoudig met een mal die men op de houder plaatst en zo de exacte positie voor het gat aangeeft. Vervolgens wordt onder een hoek van 5° de doorlaat geboord. Hier wordt de luchtdoorlaat doorheen gestoken.

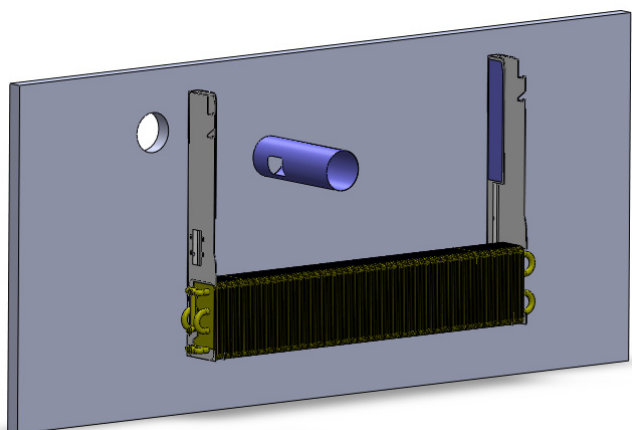


Fig. 59: Stap 3 installatie AERE-2

Als deze doorlaat geplaatst is, worden de randen afgekit met siliconen. De Buitenrooster wordt geplaatst. Dit zijn bestaande onderdelen voor ventilatiesystemen en zijn vrij te kiezen door de gebruiker. Hier wordt verder niet op ingegaan.

Stap 4: Bevestigingsvijzen worden op de juiste positie geplaatst. Wederom kan deze positie eenvoudig aangeduid worden door middel van een mal.

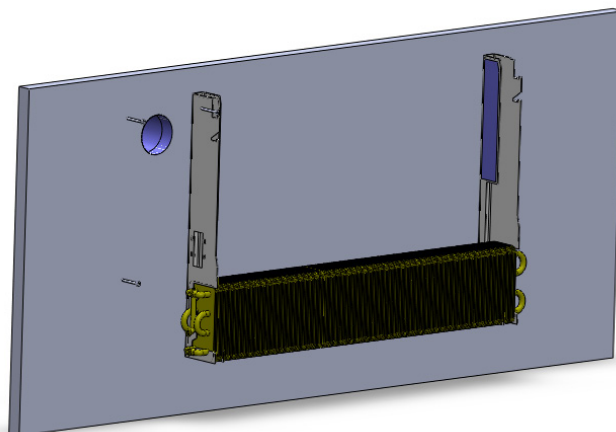


Fig. 60: Stap 4 installatie AERE-2

Stap 5: Als de vijzen op hun juiste plaats zitten, kan de luchtaanvoer geplaatst worden. De aanvoer wordt op de vijzen geplaatst en tegen de wand gedruwd, zodanig dat een deel van de behuizing in de luchtdoorlaat past.

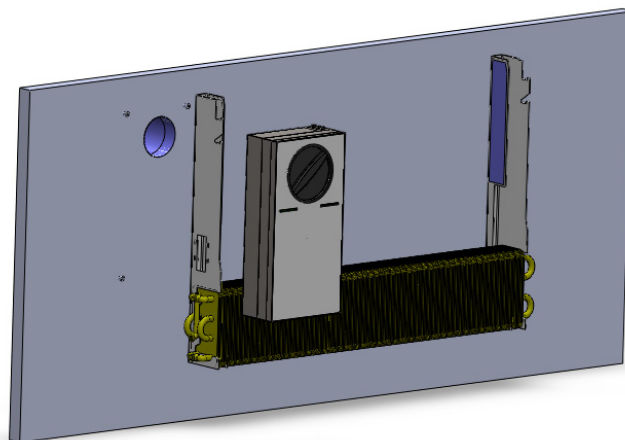


Fig. 61: Stap 5 installatie AERE-2

Bij deze stap moet extra aandacht geschonken worden aan de thermometer die uit de luchtaanvoer-unit komt en in de buis door de wand moet geplaatst worden. De thermometer moet in de buis geplaatst worden voor de unit tegen de muur bevestigd worden.

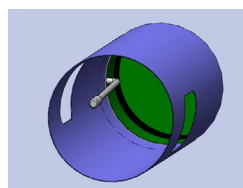


Fig. 62: Detail stap 5 installatie AERE-2

Stap 6: In deze stap werd de achterkant van de behuizing geplaatst op de houders. Dit verloopt op de zelfde manier als eerder uitgelegd bij de AERE-1.

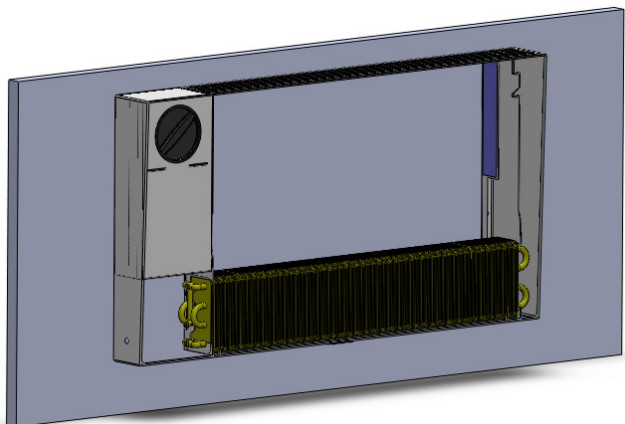


Fig. 63: Stap 6 installatie AERE-2

Stap 7: De wateraansluiting voor de convecteur wordt aangesloten. De thermostaat wordt geplaatst. De luchtgeleider wordt aan de houder bevestigd.

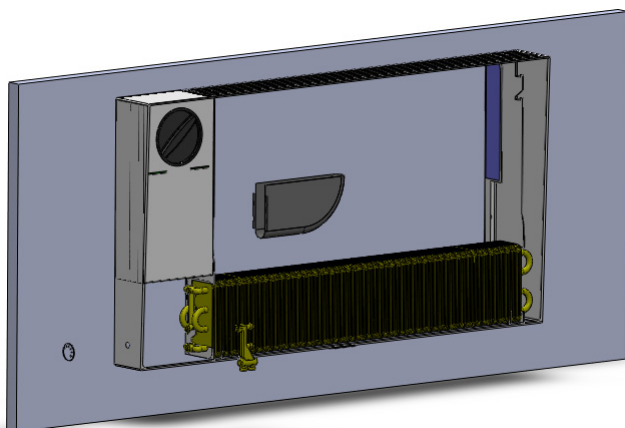


Fig. 64: Stap 7 installatie AERE-2

De geleider wordt eenvoudig op vier haken aan de houder geschoven.

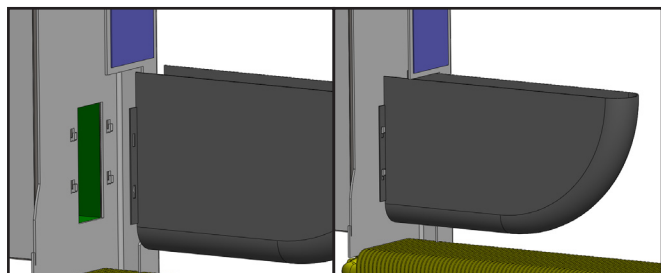


Fig. 65: Detail stap 7 installatie AERE-2

Op volgende afbeelding is te zien dat de watertoevoer op een kleine afstand zit van de buitenkant van de behuizing. Hierdoor moet

er gewerkt worden met een verlengstuk om de thermostaat te verbinden met de toevoer. Hier zijn verschillende oplossingen voor. Hier volgt een voorbeeld van Jaga.

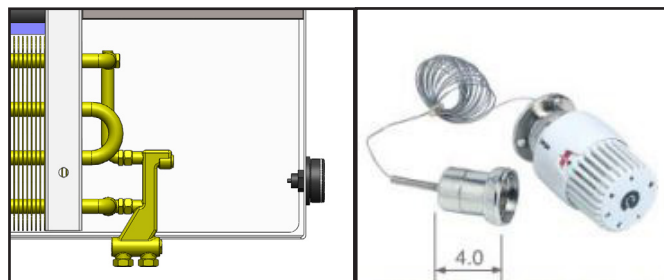


Fig. 66: Detail stap 7 installatie AERE-2  
Fig. 67: Thermostaat met verlengstuk van Jaga

Stap 8: De voorkant van de behuizing kan geplaatst worden en de AERE-2 is klaar voor gebruik.

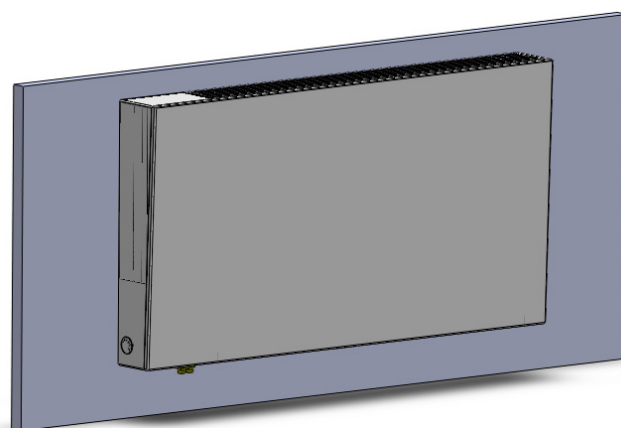


Fig. 68: AERE-2 klaar voor gebruik

## 6.2.2 Gebruik

De temperatuur wordt zoals bij de AERE-1 geregeld met dezelfde draaiknop. De luchtaanvoer-unit is een nieuw onderdeel aan het verwarmingstoestel. De ventilatie wordt volledig CO<sub>2</sub>-gestuurd. De gebruiker kan de ventilatie plaatselijk corrigeren. Deze correctie zal 6 uur werken en dan wordt de ventilatie automatisch weer overgenomen door de CO<sub>2</sub>-sturing. Op het verwarmingstoestel zijn naast de rooster 3 knoppen terug te vinden. Hiermee kan de luchtaanvoer gestopt worden of meer en minder aanvoer gevraagd worden. Per keer dat de gebruiker de knop voor meer aanvoer indrukt, zal het debiet met 25 m<sup>3</sup>/h stijgen. Dit zelfde interval geldt voor minder aanvoer.

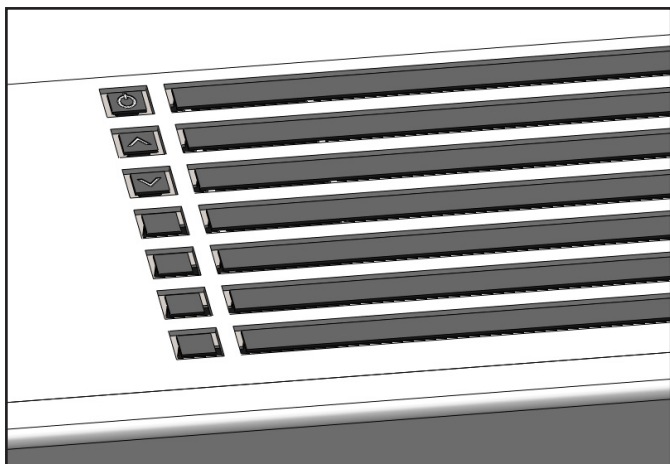


Fig. 69: Plaatselijke bediening aanvoer-unit AERE-2

### 6.2.3 Onderhoud

Voordat men begint met het onderhoud wordt dit op de master-unit aangeduid.

Het onderhoud verloopt hetzelfde als van de AERE-1. De voorste behuizing wordt er met dezelfde methode af genomen en aan de kant gezet. Wat nieuw is bij de AERE-2 is het onderhoud van de luchtaanvoer-unit. Hier zal de pré-filter zeker om het jaar vervangen moeten worden.

Nadat de voorste behuizing is verwijderd, kan de gebruiker aan de pré-filter werken. Hij draait de zwarte kop helemaal uit de unit zoals te zien is op de afbeeldingen.

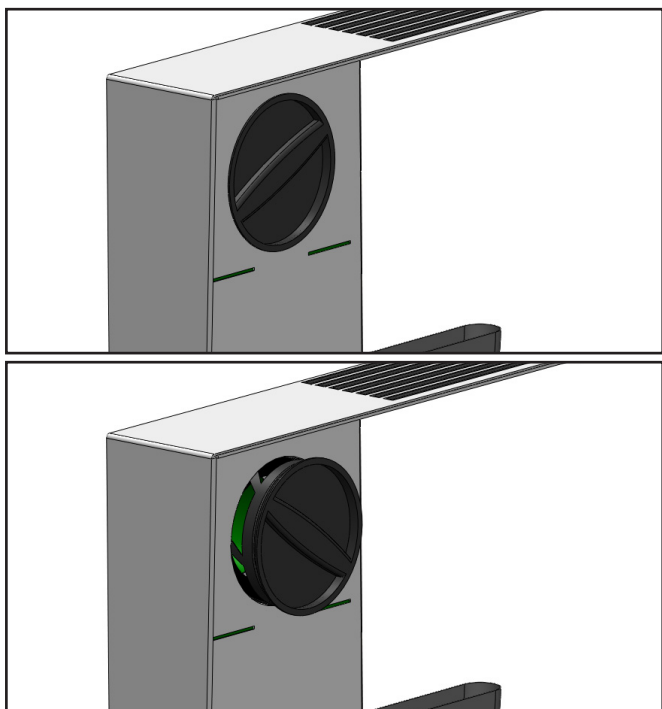


Fig. 70: Stap 1: Onderhoud luchtaanvoer-unit

Vervolgens wordt de filterkop uiteengehaald. Dit is een korte schroefdraad die in de tegengestelde richting losdraait. Dit is om te voorkomen dat de filterkop reeds open gaat als de hij uit de unit wordt gedraaid. vervolgens wordt de pré-filter verwijderd en wordt een nieuwe geplaatst. De filter wordt in het grote gedeelte gestoken met de opening weg van het handvat, vervolgens wordt de filter over de rand getrokken. Als de filterkop weer aan mekaar wordt bevestigd door de tegengestelde schroef, wordt de filter tussen de 2 onderdelen vastgezet. Op deze manier kan er geen lucht aangetrokken worden zonder door de filter te passeren. Dit wordt meer in detail besproken bij de werking.

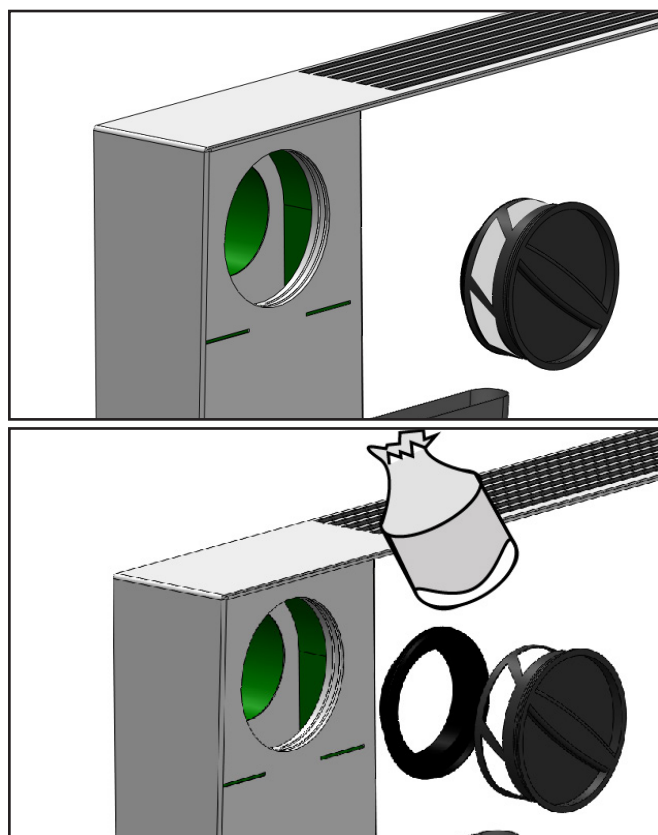


Fig. 71: Stap 2: Onderhoud luchtaanvoer-unit

Indien er vuil zich heeft opgestapeld in de luchtdoorlaat in de muur, moet dit met een stofzuiger of met de hand verwijderd worden. Nadat dit gebeurd is, kan de filterkop terug in de unit gedraaid worden en is het onderhoud voltooid en kan de behuizing weer geloten worden.

### 6.2.4 Werking

De natuurlijke convectie zal een kleine hinder ondervinden van de luchtgeleider, maar dit blijkt minimaal te zijn. Onderzoek naar het mogelijke vermogensverlies is verder niet geslaagd door een

tekort aan middelen. Uit een gesprek met één van de productontwikkelaars bij Jaga bleek dat de schouw van de convector bijna tot de helft mag verkleind worden en dat deze nog steeds efficiënt zal verwarmen. Er zal een vermogensverlies optreden maar dit kan zeer beperkt zijn. Om dit verder te bepalen moet dit door ingenieurs berekend worden en bepaald door tests.

De luchtaanvoer-unit is verbonden met een geluidsabsorberende buis naar de buitengevel. Hier trekt hij door middel van de ventilator buitenlucht naar binnen. Deze wordt door de unit geblazen en boven de low H<sub>2</sub>O-convector in de verticale richting de kamer in geblazen. Door de kracht die achter de luchtstroom zit, versterkt dit de natuurlijke convectie. Hierdoor wordt de koude aangetrokken lucht snel gemengd met de lucht die werd opgewarmd door de lammellen van de convector.

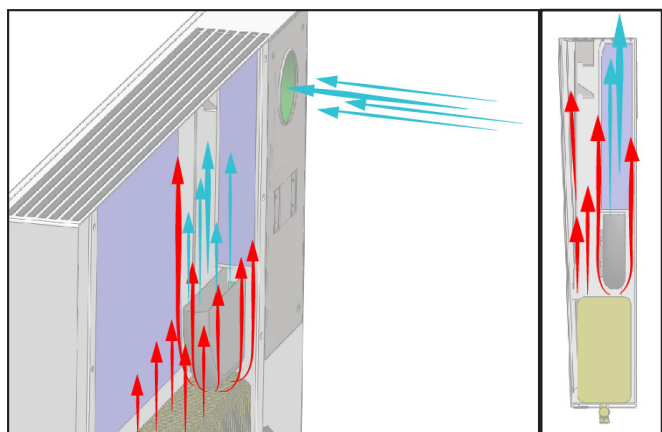


Fig. 72: Luchtstroom

De buitenlucht wordt aangetrokken door de gevel en wordt door de pré-filter geleid. De filter heeft de vorm van een zakje dat voor de opening van de luchtaanvoer getrokken wordt. De filterhouder

past juist in de buis van de aanvoer, waardoor de lucht verplicht wordt door de filter te passeren. De houder is bevestigd in de behuizing van de unit met een schroefdraad. Met een korte draai kan deze filterhouder uit de unit genomen worden. Zolang men de filter niet ondersteboven neemt is het niet mogelijk dat het vuil uit de filter valt. Zo kan men met de houder en de vuile filter naar de vuilbak stappen en deze hier losmaken om de filter weg te gooien en een nieuwe te plaatsen.

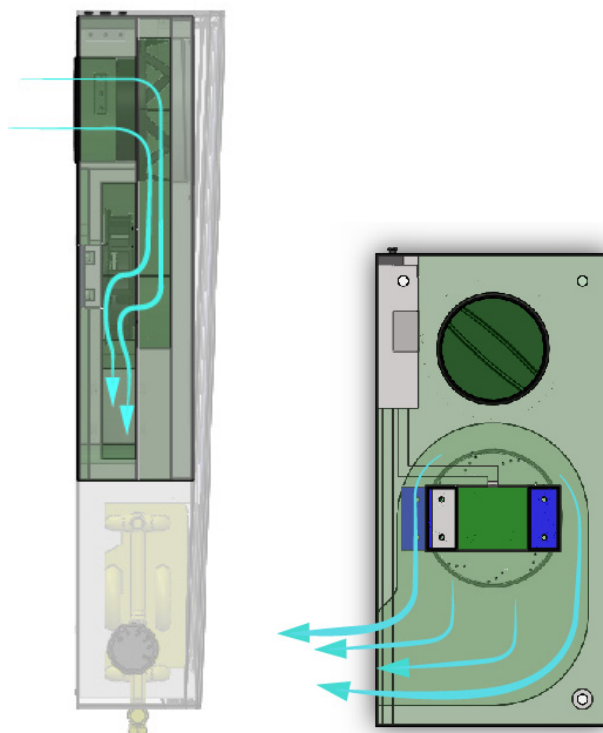


Fig. 73: Luchtstroom door de aanvoer-unit

Nadat de lucht door de pré-filter is gepasseerd wordt hij door de ventilator getrokken en verder naar buiten geblazen, zoals te zien is op bovenstaande figuur. Om een beter inzicht te krijgen in de unit zijn hieronder enkele dwarsdoorsneden te zien.

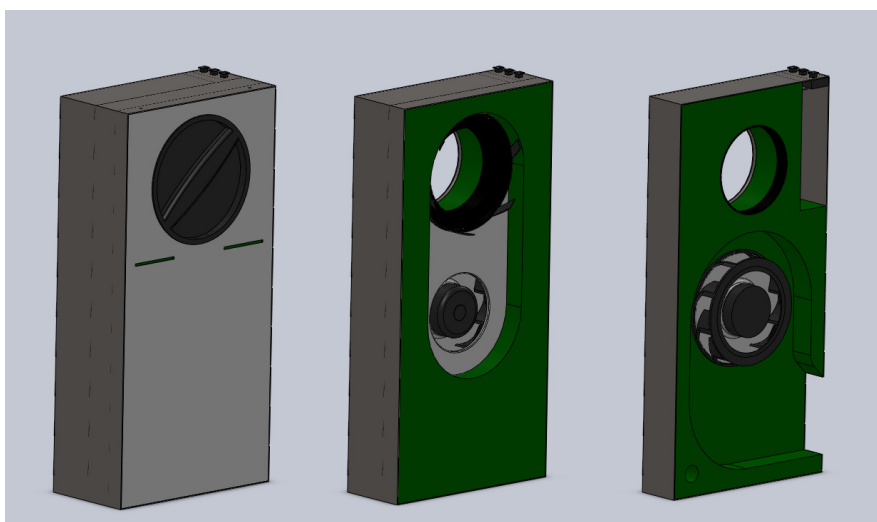


Fig. 74: Dwarsdoorsneden aanvoer-unit



## 6.2.5 Afmetingen

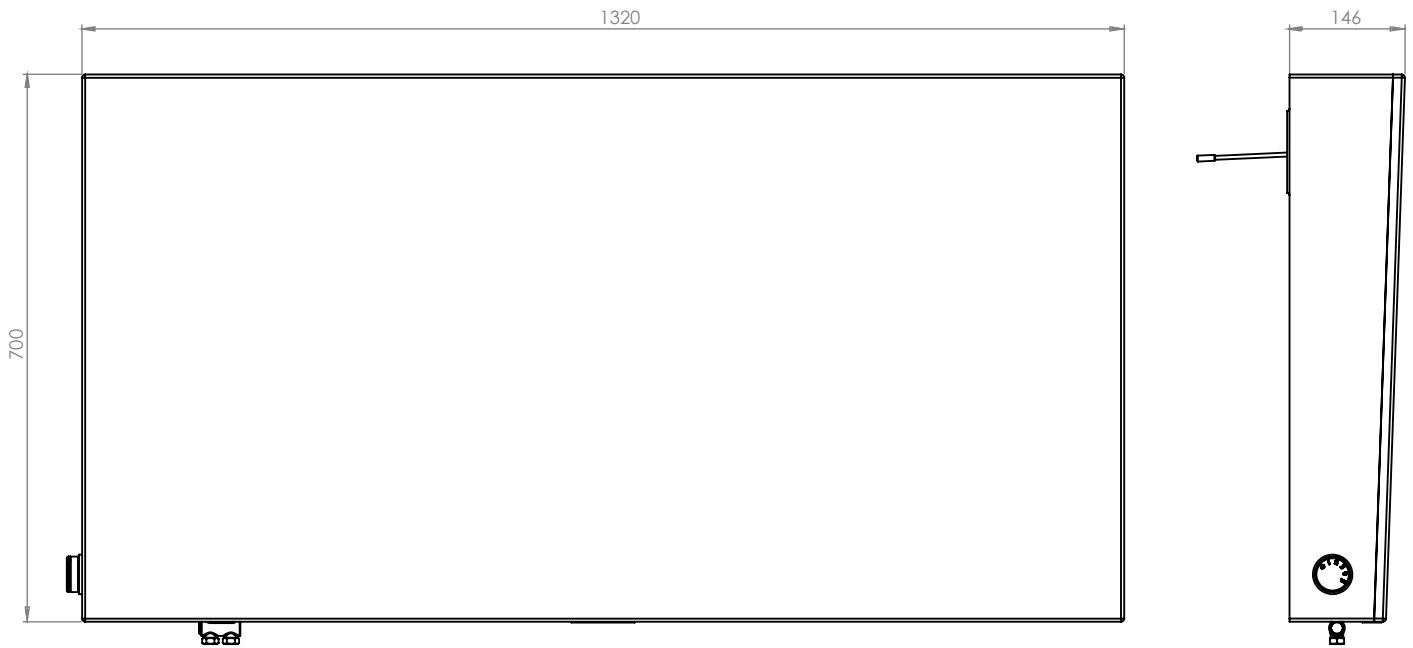


Fig. 75: Afmetingen AERE-2

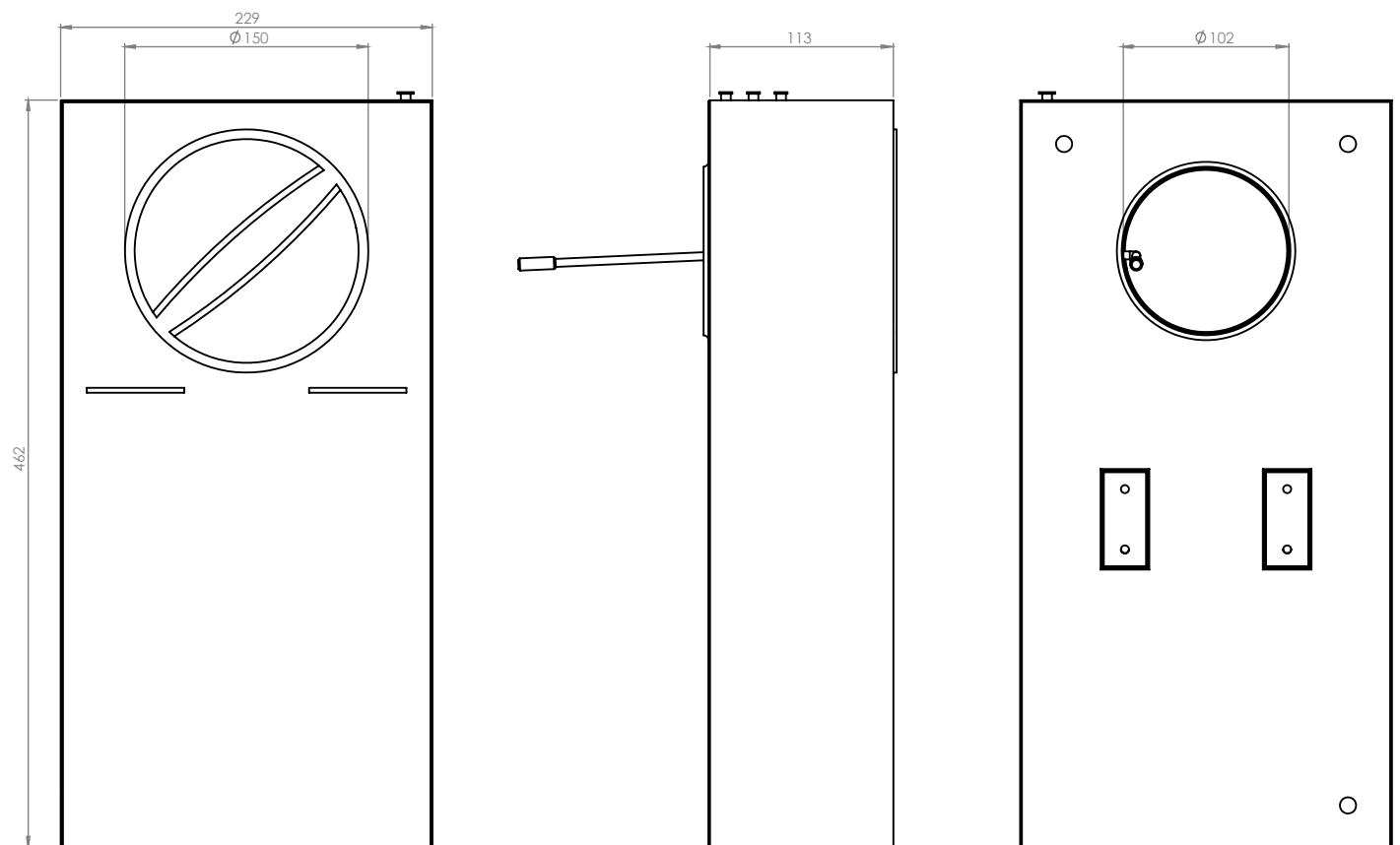


Fig. 76: Afmetingen aanvoer-unit

## 6.2.6 Exploded views

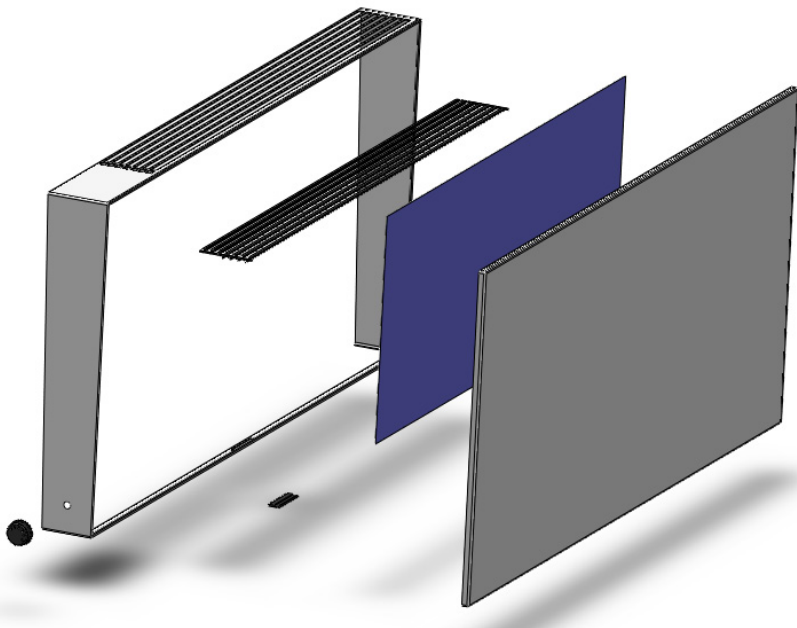


Fig. 77: Exploded view behuizing AERE-2

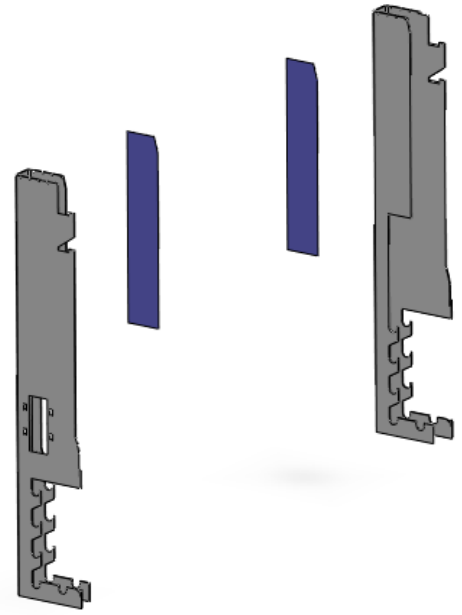


Fig. 78: Exploded view ophanging AERE-2

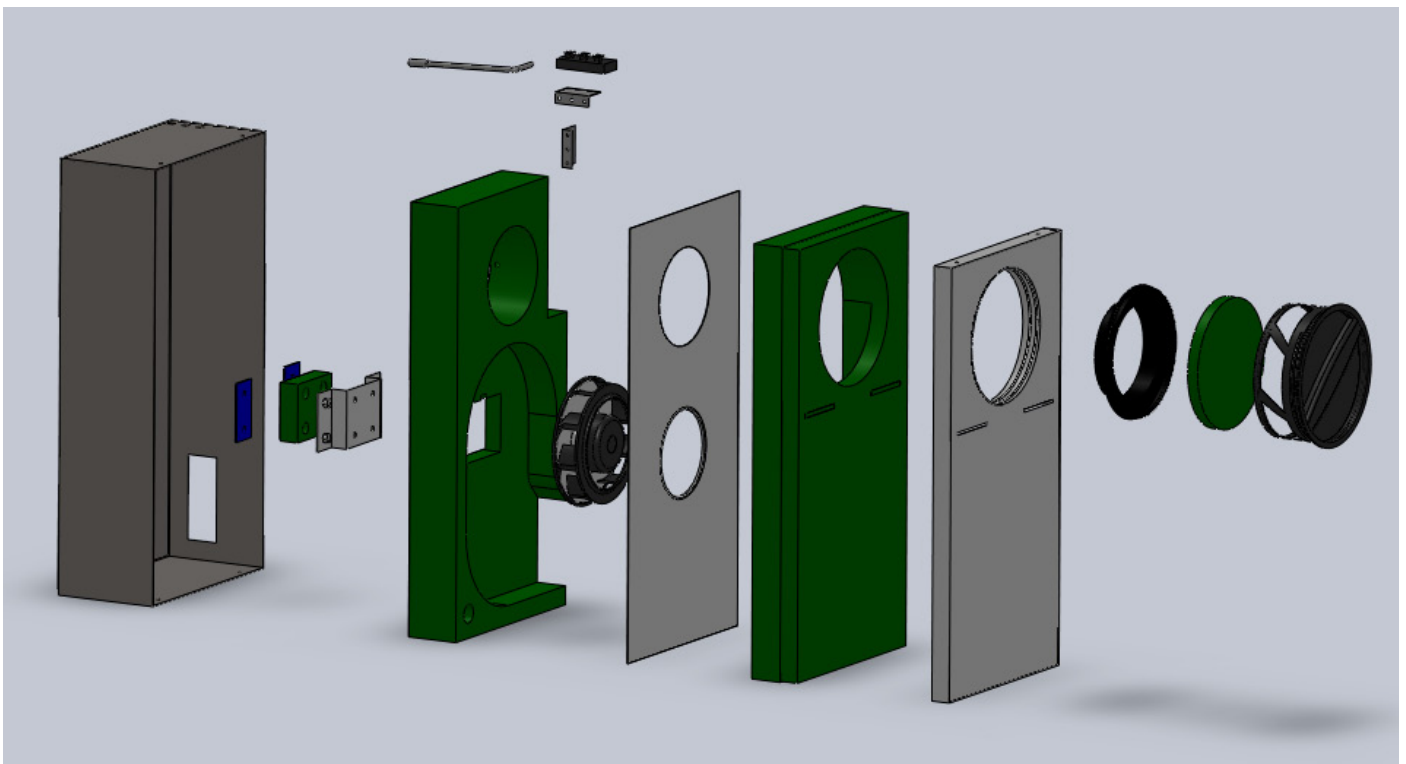


Fig. 79: Exploded view luchtaanvoer

## 6.3 AERE-3

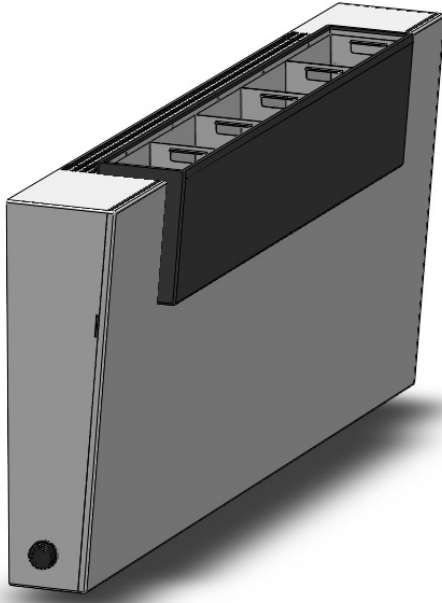


Fig. 80: AERE-3

### 6.3.1 Installatie

De eerste 7 stappen zijn hetzelfde als deze bij AERE-2, met uitzondering van de installatie van de waterverbinding en de thermostaat (dit gebeurt steeds op het einde, om beschadiging te voorkomen). Met het verschil dat op de binnenzijde van de houders voor de AERE-2 een stuk dreunplaat is bevestigd. De uitbreiding bij de AERE-3 is het filtersysteem met planten. De installatie wordt verder besproken vanaf stap 8.

Stap 8: De Bassin-unit wordt aan de houders bevestigd. Dit gebeurt ook door de unit op zijn plaats te heffen. De unit past tussen de 2 uiterste randen van de houders. De unit wordt tot tegen de voorkant van de middelste randen van de houders geduwd. Als de achterkant van de unit tegen deze randen steunt, moet de unit zakken tot deze op de steunpunten van de houders rust. Vier haken houden de hele unit tegen, zodat deze niet naar voor kan kantelen. Door het gewicht van de unit zal deze zich niet meer verplaatsen.

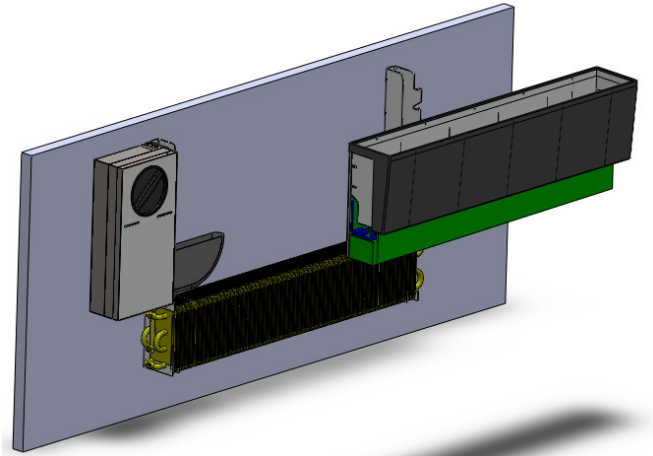


Fig. 81: Stap 8 installatie AERE-3

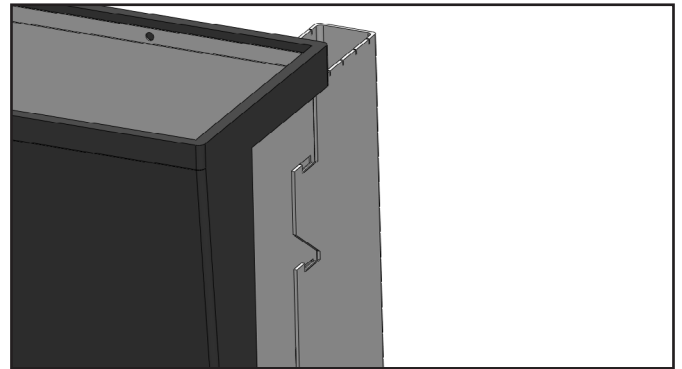


Fig. 82: Detail stap 8 installatie AERE-3

Stap 9: De vijzen voor de volgende module dienen in de muur geplaatst te worden. Ook hier is het evident om te werken met een mal die men kan steunen op de houder, om zo de juiste plaats voor de vijzen weer te geven.

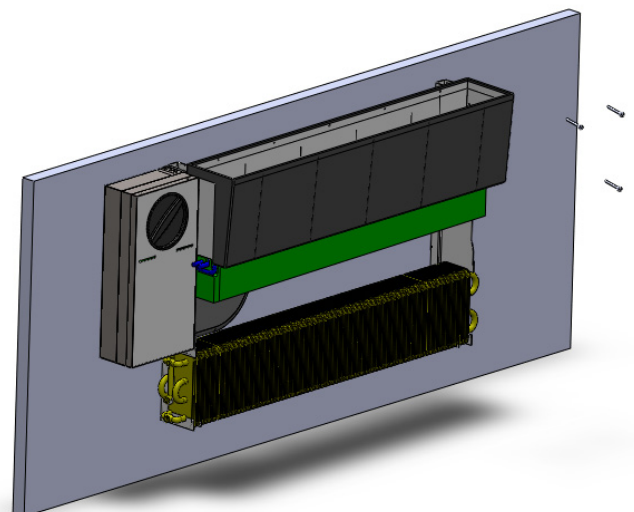


Fig. 83: Stap 9 installatie AERE-3

Stap 10: De ventilator-unit voor de filtering wordt opgehangen aan de vijzen. De unit wordt goed tegen de bassin-unit geduwd, tot deze gedeeltelijk in elkaar schuiven.

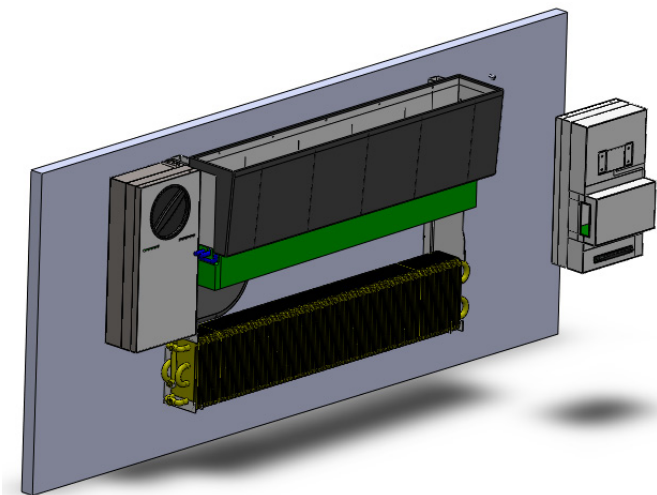


Fig. 84: Stap 10 installatie AERE-3

Stap 11: Als de ventilator-unit op zijn plaats hangt kan de tussenplaat geïnstalleerd worden. Deze wordt schuin tussen de houders gestoken achter de bassin-unit. Als de plaat dan rechtgetrokken wordt kan deze over 4 haken schuiven, zodanig dat hij vast zit.

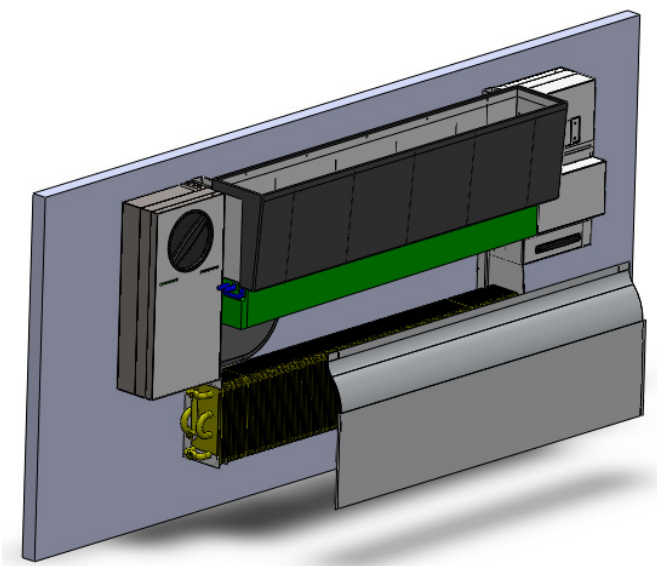


Fig. 85: Stap 11 installatie AERE-3

Stap 12: Het waterreservoir wordt geïnstalleerd. Deze unit wordt met 2 haken aan de luchtaanvoer-unit bevestigd. Vervolgens worden al de kabels aan elkaar gekoppeld.

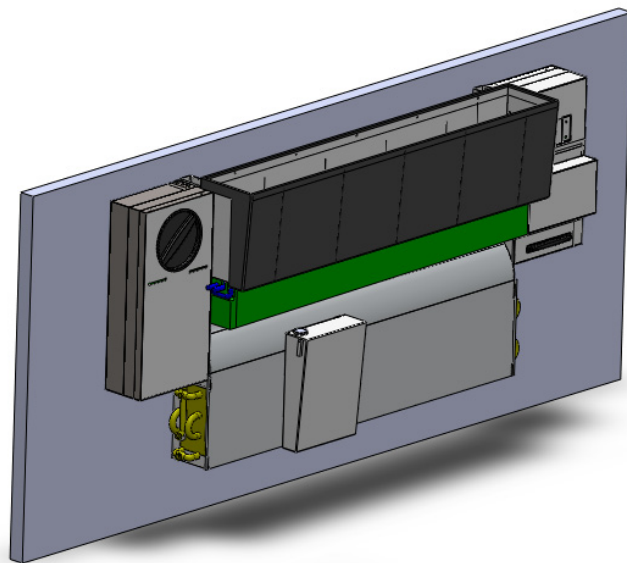


Fig. 86: Stap 12 installatie AERE-3

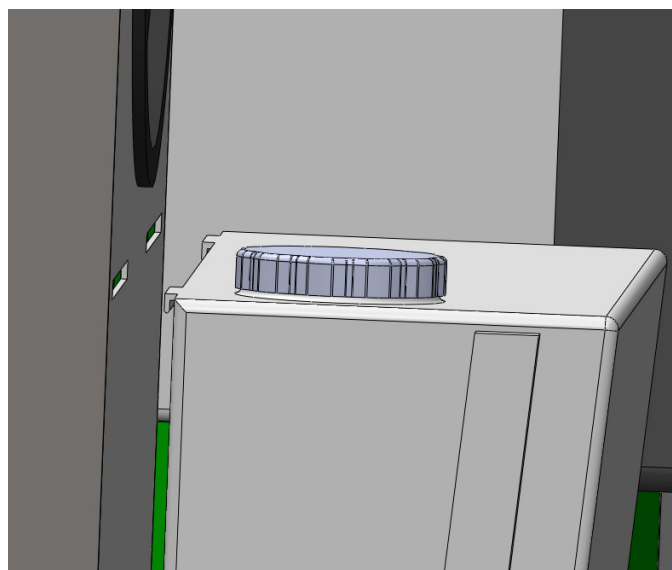


Fig. 87: Detaillering stap 12 installatie AERE-3

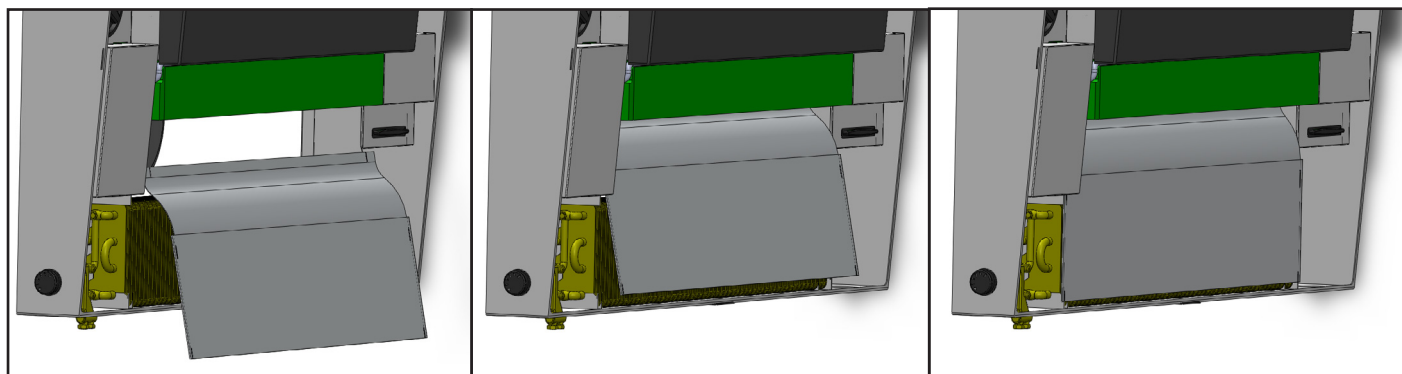


Fig. 88: Detaillering stap 11 installatie AERE-3

Stap 13: De achterkant van de behuizing heeft een andere vorm dan deze van de AERE-1 en AERE-2, maar hij wordt op een identieke wijze geplaatst. Hij wordt over de bassin-unit gehoffen en vervolgens met behulp van de rooster op de juiste plaats neergelaten.

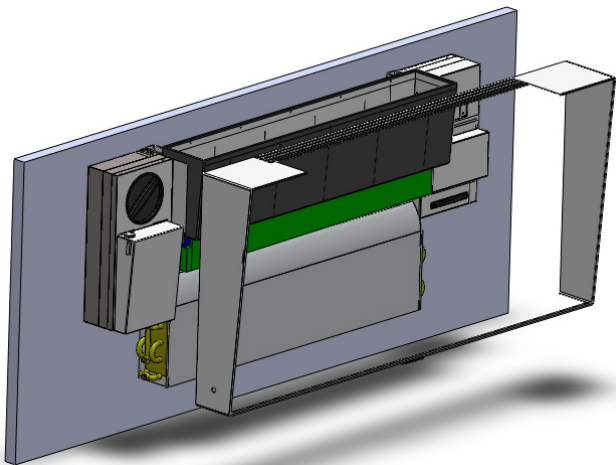


Fig. 89: Stap 13 installatie AERE-3

Stap 14: Ook de voorkant van de behuizing wordt op een identieke wijze geplaatst.

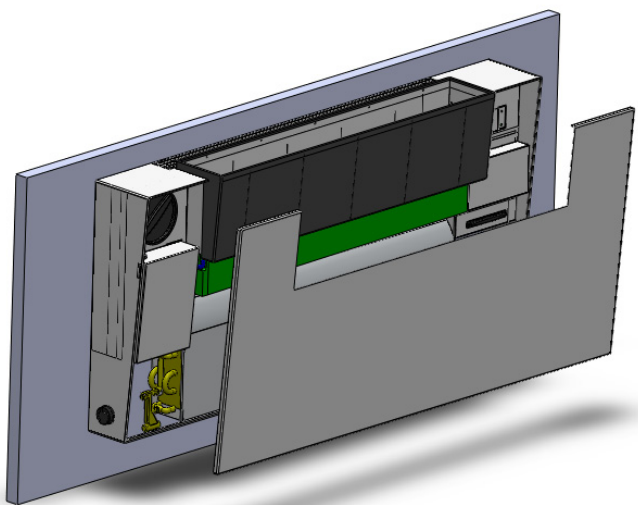


Fig. 90: Stap 14 installatie AERE-3

Stap 15: Als voorlaatste stap worden de plantenbakken in het systeem geplaatst. Er wordt één plant per bak geplaatst en verder opgevuld met lavakorrels. Vervolgens worden de bakken één voor één in het systeem geplaatst. Belangrijk hierbij is dat de eerste plantenbak die geplaatst wordt, onder de draad van de vochtigheidssensor geschoven moet worden. De vochtigheidssensor moet vervolgens in de bodem van deze plantenbak geplaatst worden.

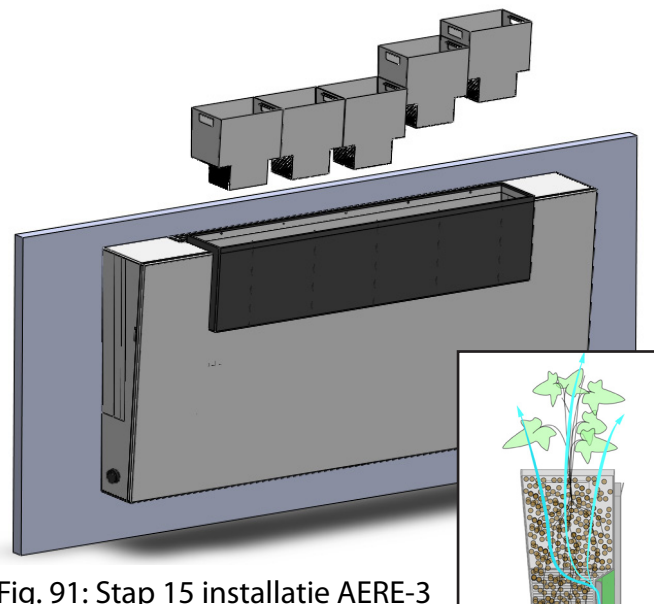


Fig. 91: Stap 15 installatie AERE-3

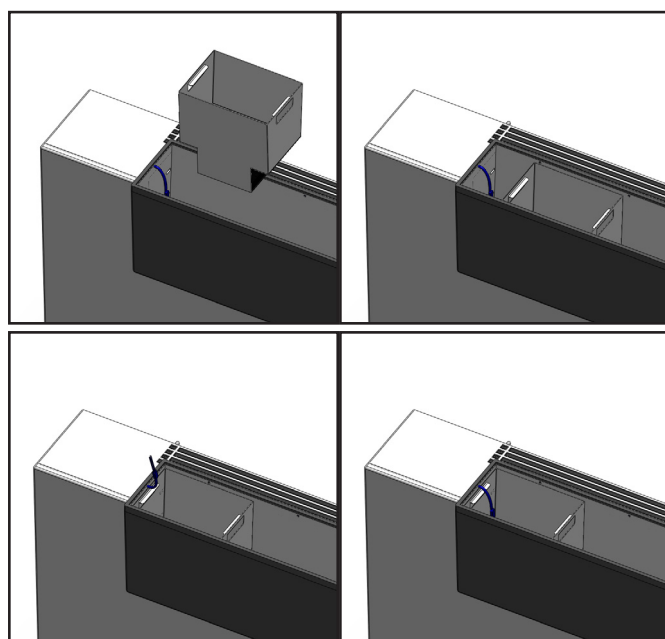


Fig. 92: Detaillering stap 15 installatie AERE-3

Stap 16: Als al de planten geplaatst zijn, worden de beschermingsroosters geplaatst. De bladeren en takken van de planten worden opgehooft en vervolgens wordt de rooster op de plantenbak geplaatst.

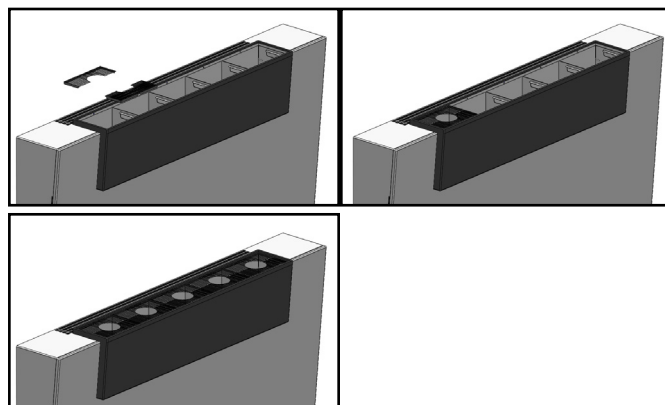


Fig. 93: Stap 16 installatie AERE-3

Als de roosters geplaatst zijn is de AERE-3 klaar voor gebruik.

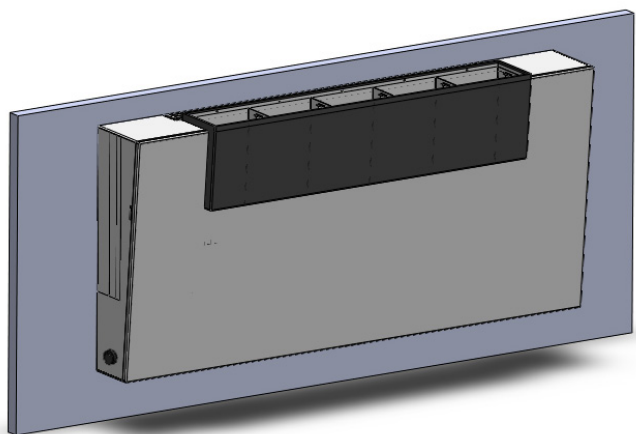


Fig. 94: AERE-3 klaar voor gebruik

### 6.3.2 Gebruik

Het gebruik van de verwarming en de ventilatie verlopen hetzelfde als bij de AERE-1 en AERE-2. Hier zijn de knoppen voor de ventilatie ook naast de rooster te vinden.

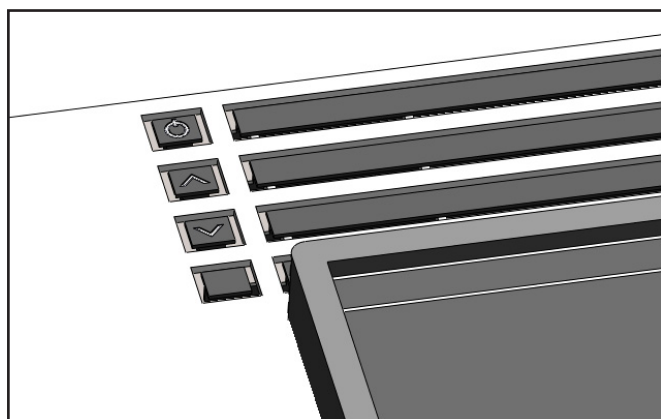


Fig. 95: Plaatselijke bediening aanvoer-unit AERE-3

Aan de rechterzijde zijn dezelfde knoppen terug te vinden voor de plaatselijke bediening van de filter-unit.

De filtering wordt bij het plaatsen van het systeem ingesteld op de master-unit. De filtering is continu of gestuurd volgens het levensritme van de gebruiker. De gebruiker kan de filtering echter plaatselijk corrigeren. Deze correctie zal net als bij de ventilatie 6 uur werken en dan wordt de filtering automatisch weer overgenomen door de ingestelde sturing. Met de knoppen kan de ventilator gestopt worden of harder en zachter gezet worden. Per keer dat de gebruiker op de knop voor meer filtering duwt, zal het debiet van de ventilator met 25 m<sup>3</sup>/h stijgen. Dit zelfde

interval geldt voor minder filtering.

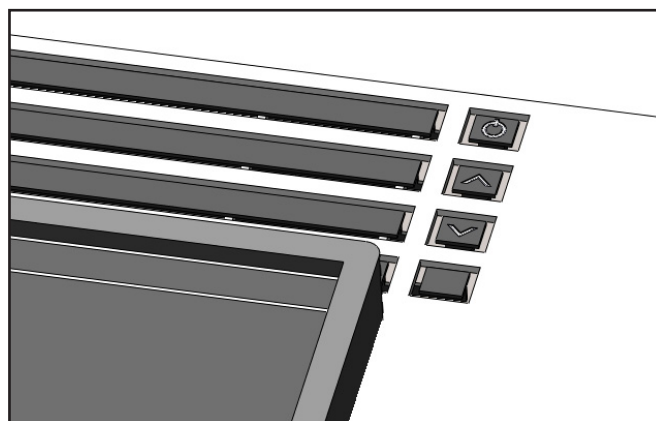


Fig. 96: Plaatselijke bediening filtering AERE-3

### 6.3.3 Onderhoud

Voordat men begint met het onderhoud wordt dit op de master-unit aangeduid.

Om het onderhoud aan de technische onderdelen te kunnen doen, moet de voorkant van de behuizing op dezelfde manier verwijderd worden als bij de AERE-1 en AERE-2. Voor het kuisen van de convectielamellen wordt de tussenplaat verwijderd. Dit gebeurt op de omgekeerde manier als reeds werd uitgelegd bij stap 11 van de installatie van de AERE-3. Nadat de lamellen gekuisd zijn, wordt de tussenplaat weer bevestigd.

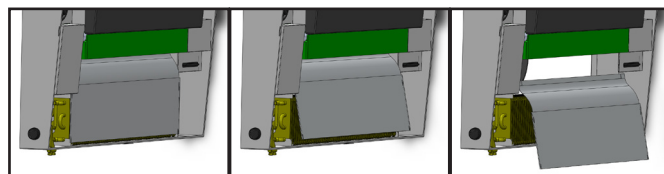


Fig. 97: Verwijderen tussenplaat voor onderhoud

Eventuele technische aanpassingen aan de wateraanvoer voor de convectors en de thermostaat kunnen nu ook verricht worden.

Een belangrijke stap bij het onderhoud van de AERE-3 is het vervangen van de filters en het eventueel kuisen van de luchtaanvoer door de gevelwand. De pré-filter in de aanvoer-unit wordt op dezelfde manier vervangen als eerder is uitgelegd bij de AERE-2.

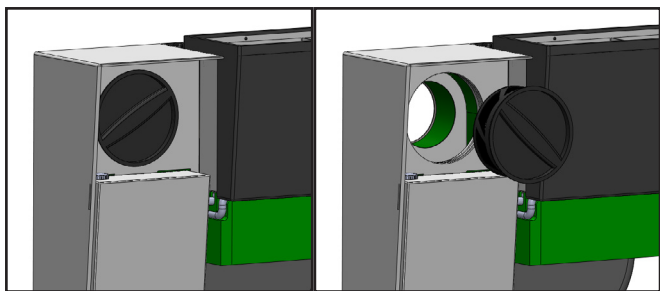


Fig. 98: Onderhoud aanvoer-unit

Bij de AERE-3 moet ook de droge filters van de filter-unit vervangen worden. Hiervoor moet de gebruiker de filterhouder uit de unit trekken.

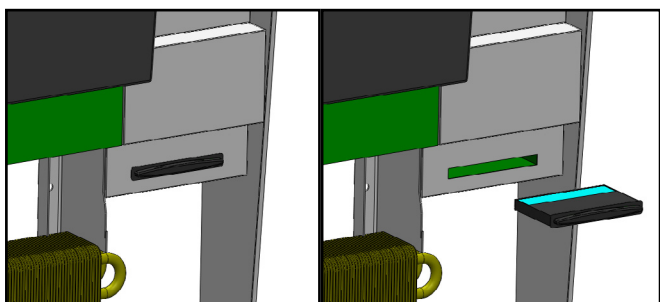


Fig. 99: Onderhoud droge filters AERE-3

Als de filterhouder volledig uit de unit is, kan de gebruiker de actieve koolfilter en de Aerofil fijnstoffilter vervangen. Deze worden uit de houder gehoffen en verwijderd. Vervolgens worden er 2 nieuwe filters geplaatst.

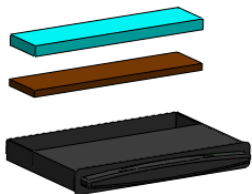


Fig. 100: Vervangen droge filters

Indien er extra nutriënten moeten worden toegevoegd aan het irrigatiewater, kan dit ook tijdens het onderhoud gebeuren. De dop van het waterreservoir wordt verwijderd. En vervolgens kunnen de nutriënten worden toegevoegd. Deze zullen oplossen en zich verspreiden in het water.

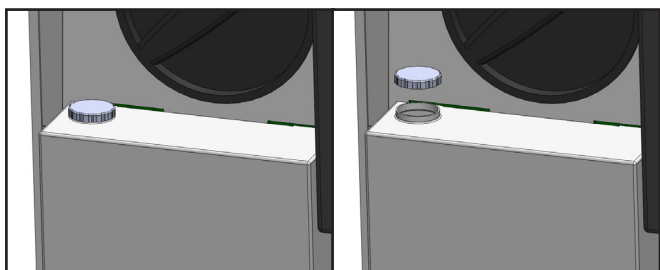


Fig. 101: Toevoeging nutriënten

De planten in het systeem moeten worden onderhouden net als andere kamerplanten. Indien er Hedera wordt gebruikt is het aangewezen om de planten af en toe te controleren, opdat ze niet te hard woekeren. De planten zullen af en toe worden bijgeknipt. Om planten te vervangen kan men de plantenbak waar deze specifieke plant in zit uit het systeem heffen. Eerst wordt de beschermingsrooster boven de plantenbak verwijderd. Vervolgens kan men de lavakorrels aan de 2 buitenste randen van de plantenbak naar binnen duwen, totdat men aan de handvaten kan. Als deze vrij zijn, kan de gebruiker de plantenbak uit het bassin heffen. De onderkant van de plantenbak zal nog vocht bevatten. Daarom kan men deze best even laten uitdruppen in het bassin. Als de plantenbak er uit is gehaald, kan de plant en de lavakorrels vervangen worden door nieuwe. Vervolgens wordt de plantenbak weer in het systeem geplaatst en het systeem is weer klaar voor gebruik.

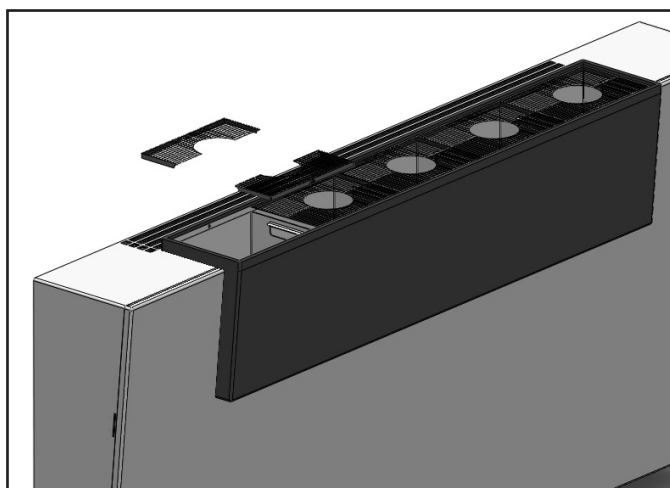


Fig. 102: Beschermingsrooster verwijderen

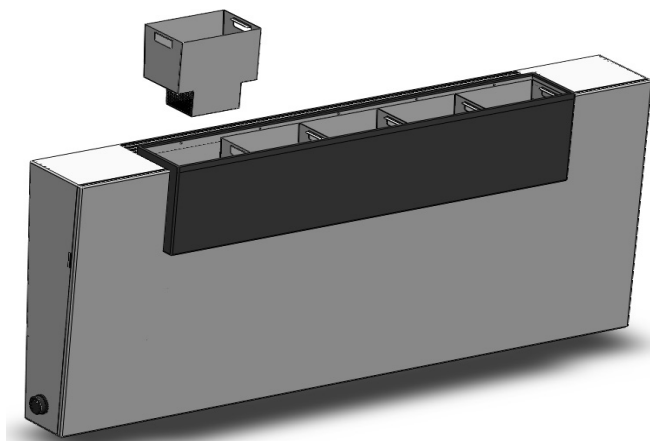


Fig. 103: Plantenbak opheffen

### 6.3.4 Werking

Bij de AERE-3 zal de natuurlijke convectie een grotere hinder ondervinden. Dit zal een vermogensverlies tot gevolg hebben. Zoals eerder vermeld waren er niet voldoende middelen om hier verder onderzoek naar te verrichten. Nadat hier testen over gedaan worden, is het mogelijk om op deze verliezen in te spelen om zo voldoende verwarming te garanderen.

De luchtaanvoer-unit is uitgebreid besproken bij de werking van de AERE-2.

De filtering wordt aangestuurd door de ventilator-unit van de filtering. Deze unit trekt lucht uit de kamer aan langs de onderkant van de behuizing. De behuizing is volledig open onderaan om de natuurlijke convectie goed te laten verlopen en om lucht vanuit de kamer aan te trekken voor de filtering.

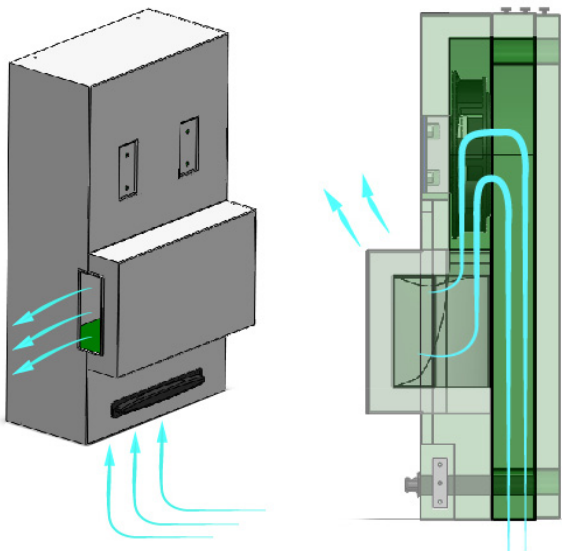


Fig. 104: Luchtstroom door ventilator van de filtering

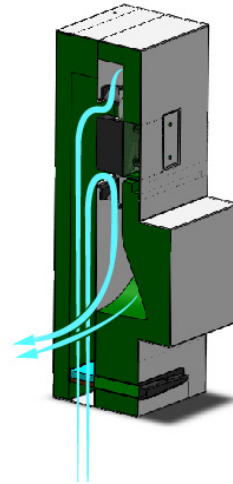


Fig. 105: Dwarsdoorsnede met luchtstroom ventilator

De lucht die door de ventilator verder wordt geduwd, komt in een drukkamer terecht. Deze is verbonden met een smalle schacht die de drukkamer met het plantenbassin verbindt. Doordat deze schacht smaller is dan de drukkamer, wordt de lucht eerst goed verspreid over de hele breedte van de filter. Als de druk hoog genoeg is wordt de lucht door de schacht geperst door het filterbed.

Op grotere afstand van de ventilator vandaan wordt de drukkamer breder. Dit helpt ook bij de goede verspreiding van de luchttoevoer door de filter. Doordat in het bredere stuk minder weerstand is tegen de luchtstroom, wordt de verdeling van de lucht over de hele kamer verbeterd. Op de volgende pagina zijn 2 dwarsdoorsneden te zien die dit aantonen.

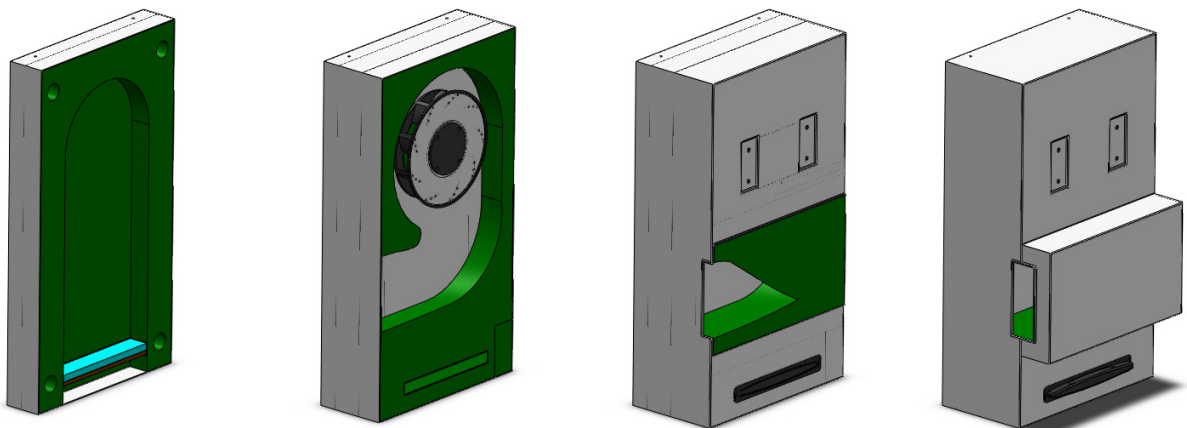


Fig. 106: Dwarsdoorsneden ventilator-unit van de filtering



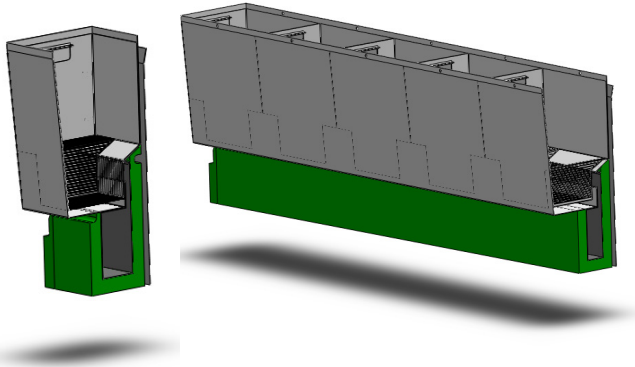


Fig. 107: Dwarsdoorsneden drukkamer en bassin

Het filtersysteem werkt met een natte filtering. Hiervoor is een irrigatiesysteem geïnstalleerd dat de planten en het filterbed op de gewenste bodemvochtigheid houden. De planten leven in hydrocultuur. Dit wil zeggen dat ze met hun onderste wortels volledig in het water staan.

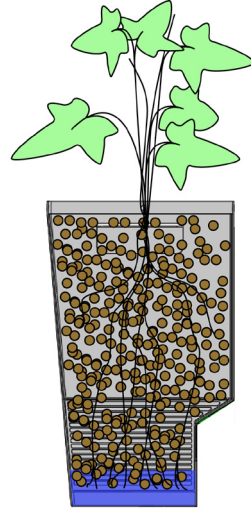


Fig. 111: Hydrocultuur

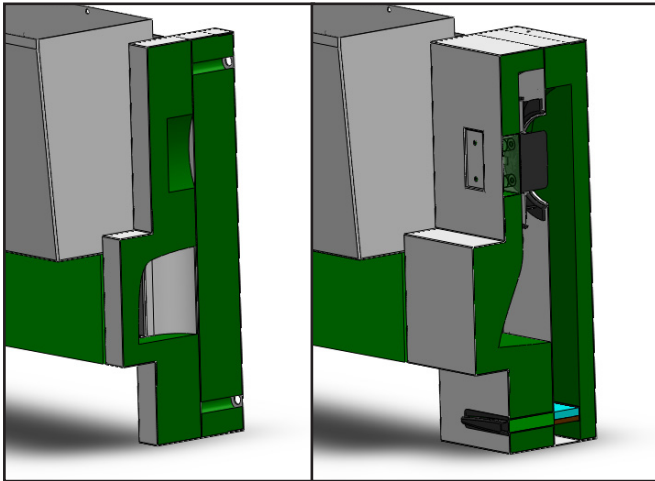


Fig. 108: Dwarsdoorsneden ventilator-unit filtering

Het watersysteem werkt met 2 communicerende vaten. Het ene vat is de bodem van de bassin-unit, waar de onderkant van de plantenbak in het water komt te hangen. Het andere vat is het waterreservoir. Dankzij dit principe is het waterniveau in de 2 vaten altijd gelijk. Hierdoor hoeven de technische componenten niet mee in het bassin geplaatst te worden, maar kunnen ze in een apart waterreservoir geplaatst worden. Indien er onderdelen gerepareerd moeten worden kan dit op deze manier eenvoudig in het waterreservoir gebeuren.

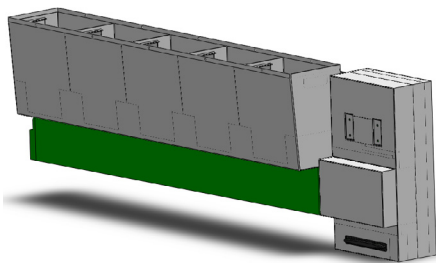


Fig. 109: Ventilator-unit en bassin-unit

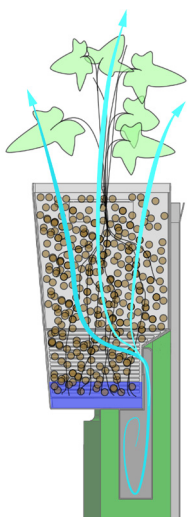


Fig. 110: Luchtstroom door plantenbak

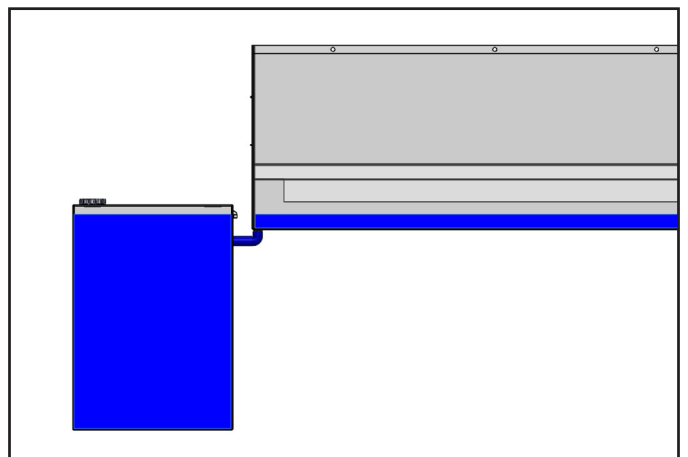


Fig. 112: Communicerende vaten

Indien de vochtigheidsensor een te lage waarde meet, wordt de irrigatie in gang gezet. Hierbij pompt de pomp in het waterreservoir water tot bij de sproeikoppen aan de top van de bassin-unit.

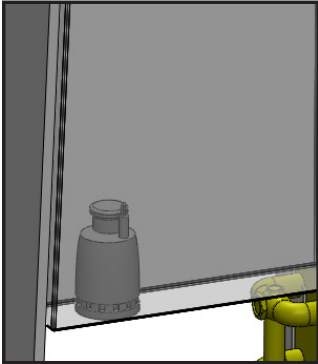


Fig. 113: Dompelpomp

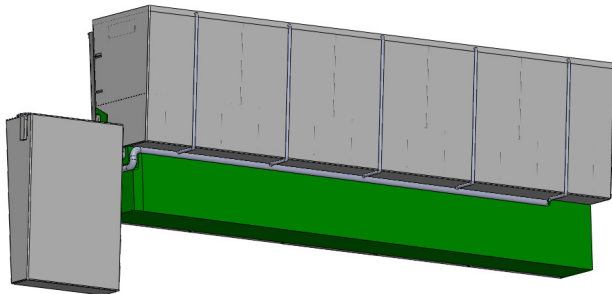


Fig. 114: Slangen voor irrigatie

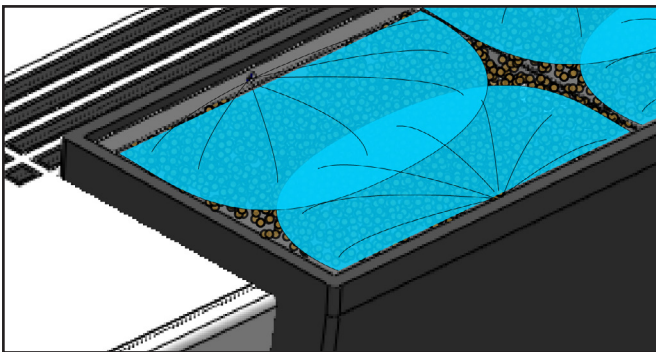


Fig. 115: Besproeid oppervlak

Om te voorkomen dat de sproeikoppen gehinderd worden door bladeren die laag hangen, worden er roosters rond de planten geplaatst. Deze roosters houden takken en bladeren boven de straal water uit de sproeikoppen.

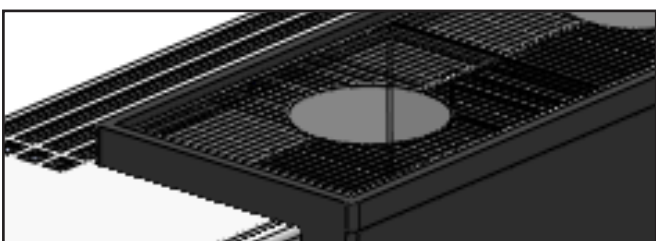


Fig. 116: Beschermende rooster voor waterstraal

De pomp is verbonden met een brede slang die opsplijt naar de voorzijde en de achterzijde van het bassin. Deze slangen hebben kleine vertakkingen die tot bij de sproeikoppen lopen bovenaan het bassin.

Het systeem wordt automatisch voorzien van regenwater. Door middel van een pomp schakelaar wordt het waterlevel constant onder controle gehouden. Van zodra het waterlevel daalt, wordt er via een kleine PTFE-buis water vanuit de regenwaterput toegevoegd.

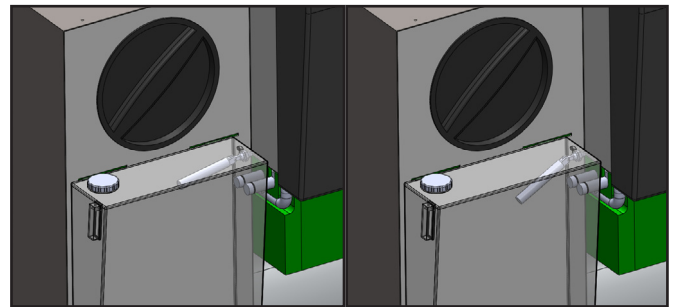


Fig. 117: Dompelschakelaar

De pomp schakelaar geeft een elektronisch signaal door aan de master-unit over het waterlevel. Van zodra er een te laag level verkregen wordt, bijvoorbeeld als de regenwaterput leeg geraakt, zal de gebruiker het waterreservoir handmatig moeten vullen. Dit gebeurt op dezelfde wijze als wanneer er nutriënten worden toegevoegd. Voor een indicatie van het waterlevel op de unit is er een vlotter ingebouwd in het waterreservoir. Deze vlotter is langs de buitenkant van de behuizing te zien. Om het design niet te verstoren is de indicatie subtiel aan de zijkant van de behuizing te zien.

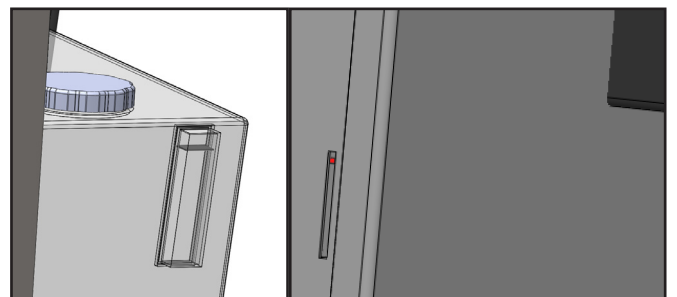


Fig. 118: Vlotterindicatie waterlevel

### 6.3.5 Afmetingen

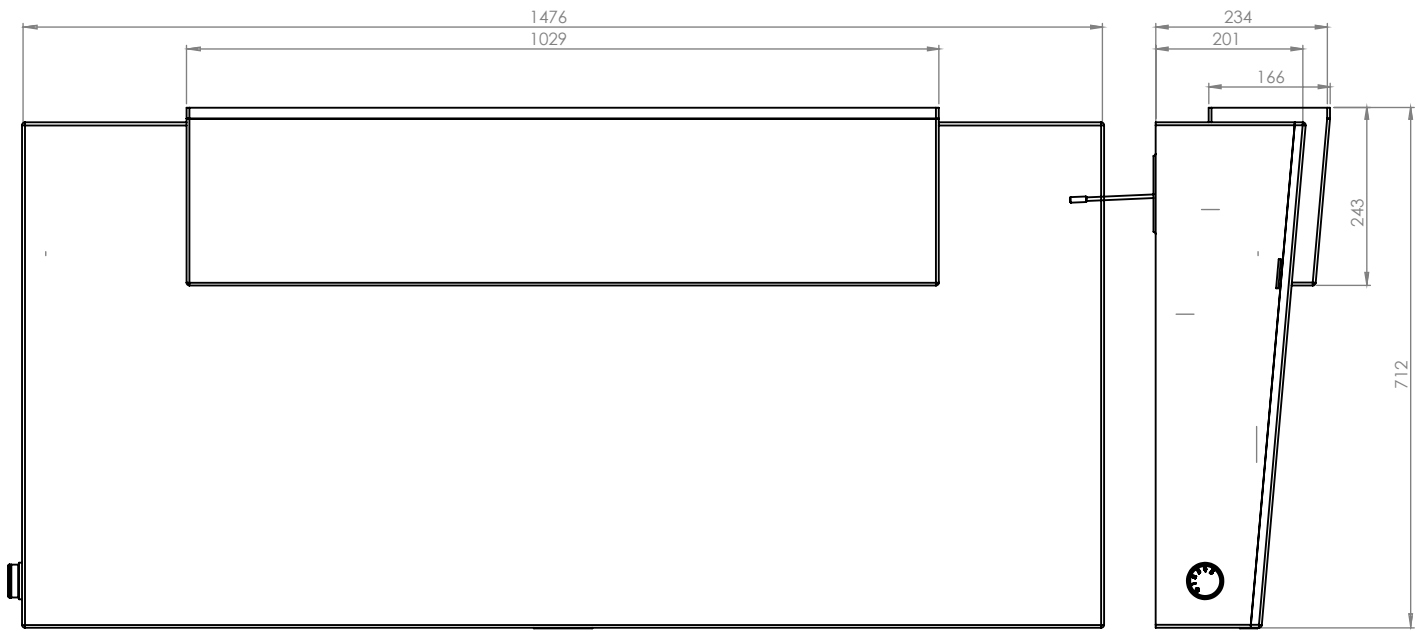


Fig. 119: Afmetingen AERE-3

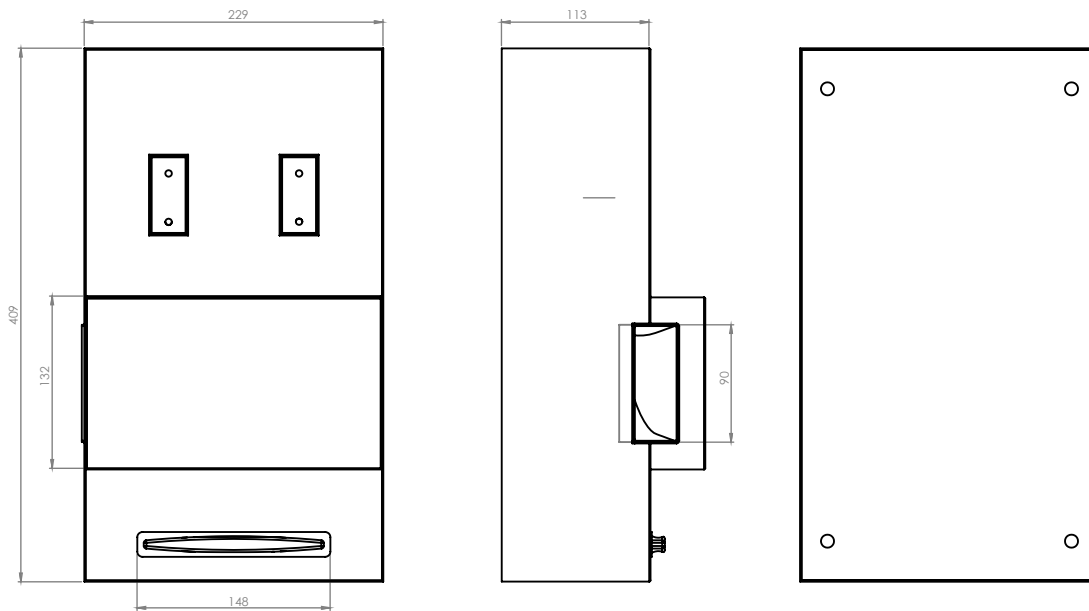


Fig. 120: Afmetingen ventilator-unit

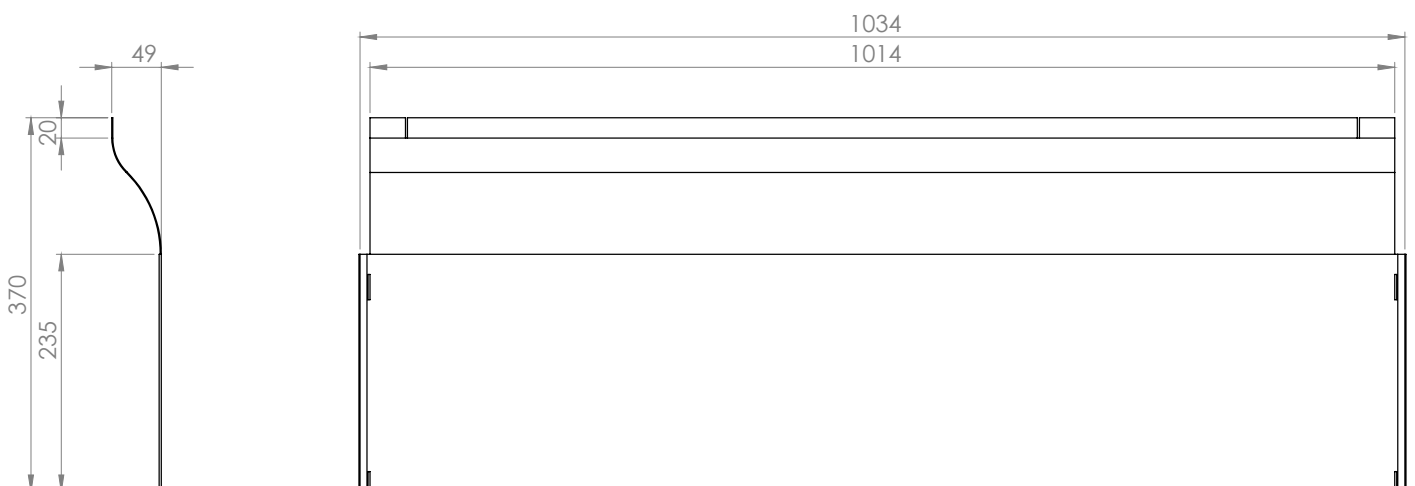


Fig. 121: Afmetingen onderhoudesplaat

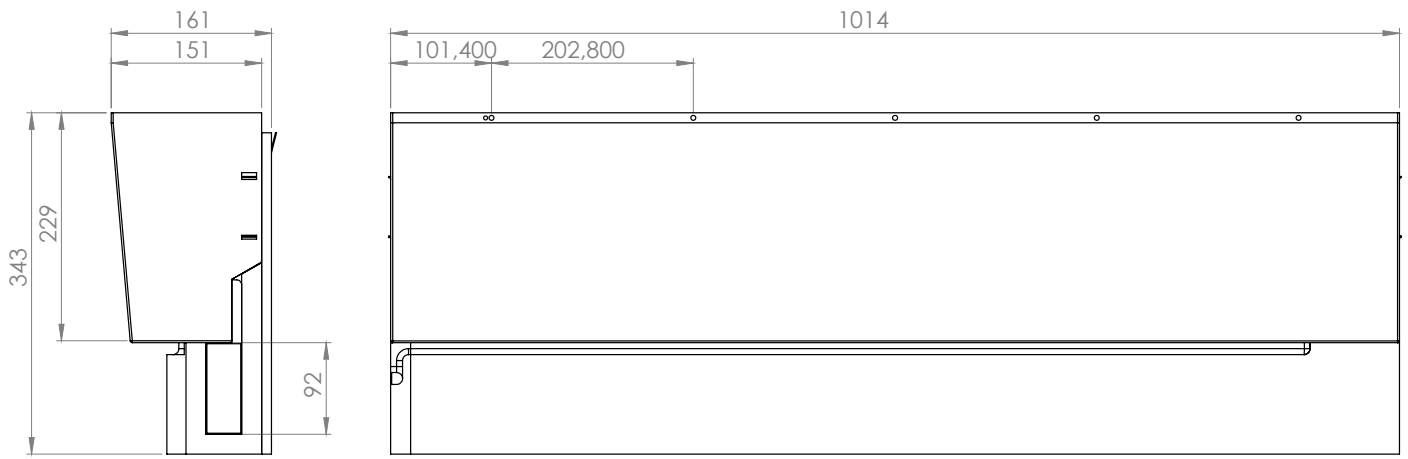


Fig. 122: Afmetingen bassin-unit

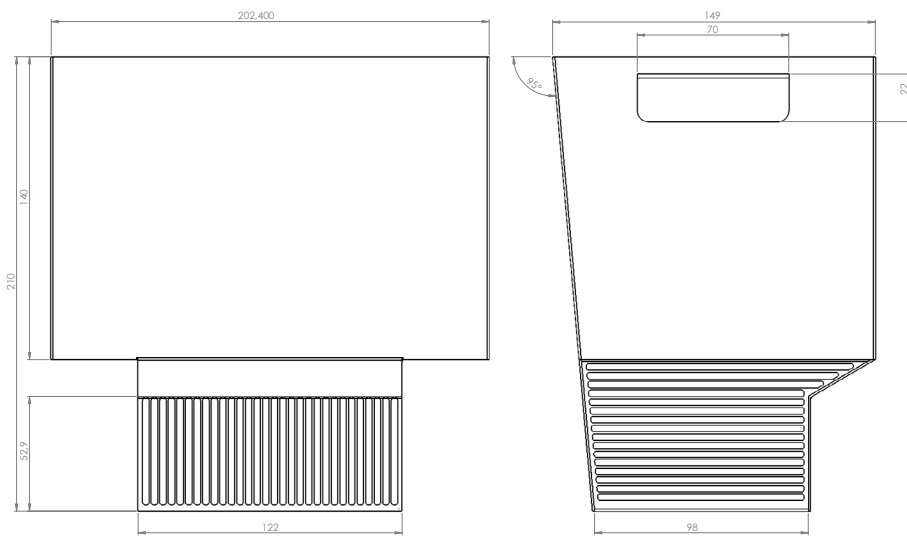


Fig. 123: Afmetingen plantenbak

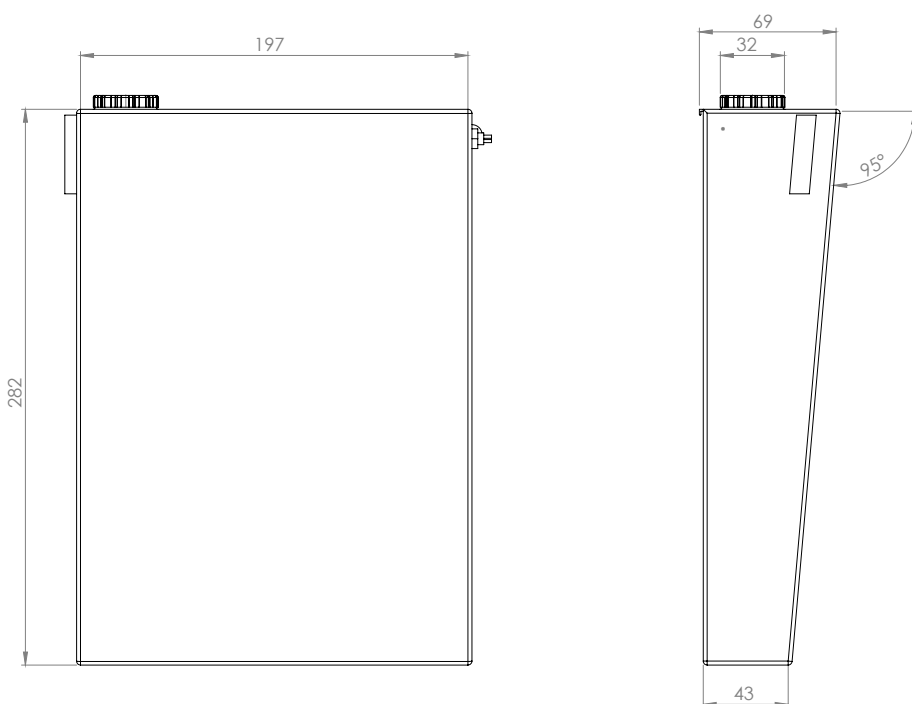


Fig. 124: Afmetingen waterreservoir

## 6.2.6 Exploded views

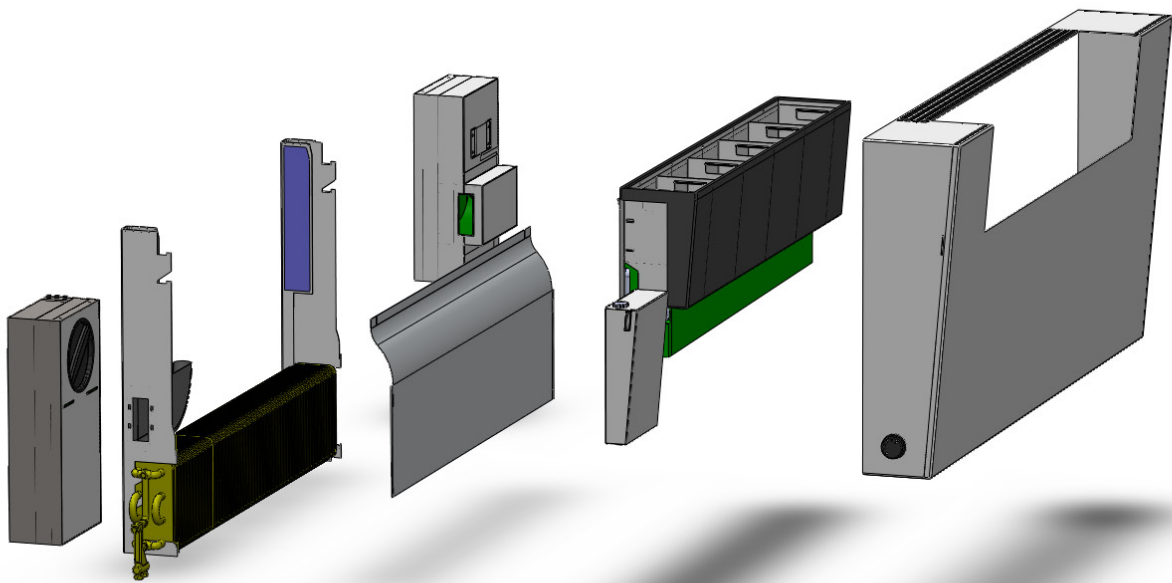


Fig. 125: Exploded view AERE-3 overzicht

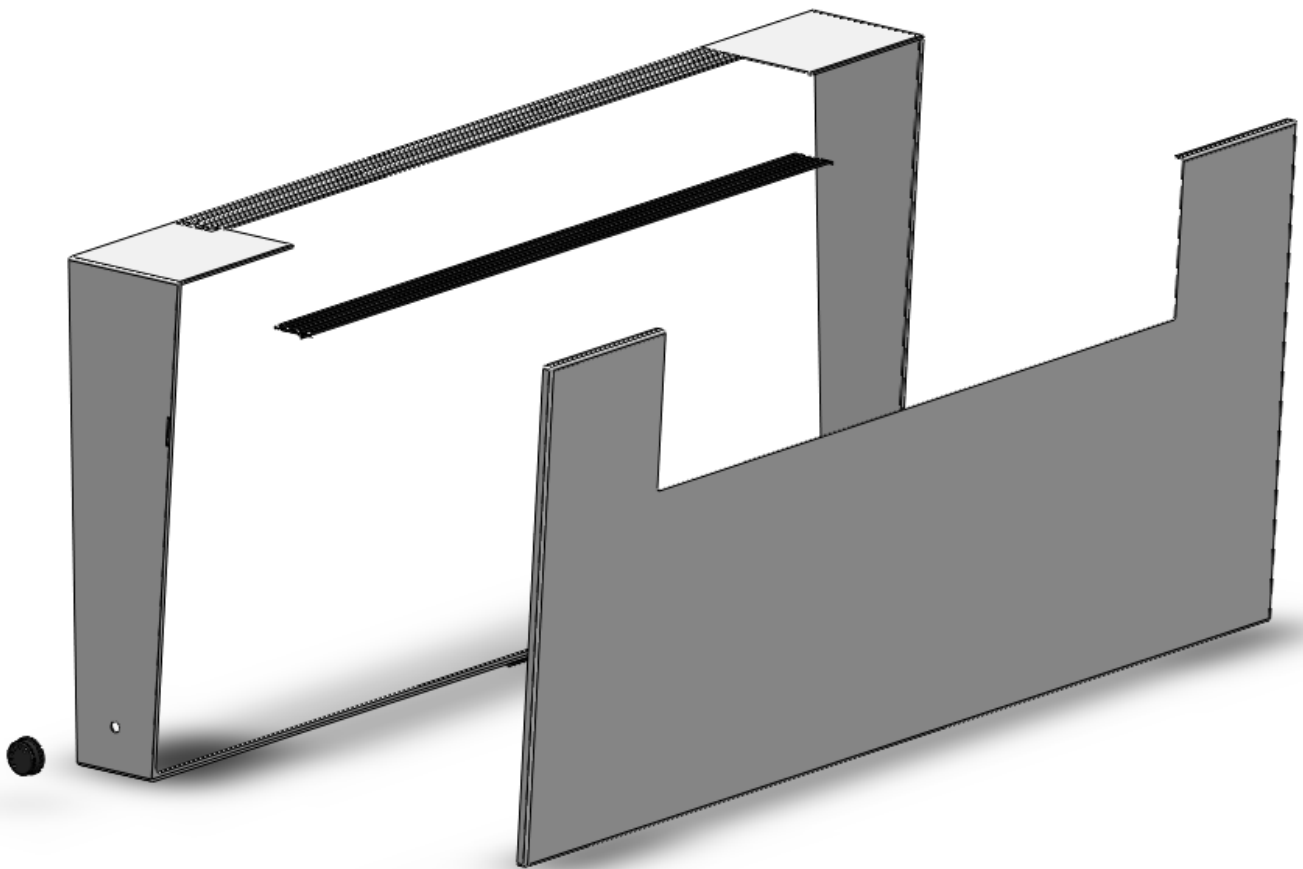


Fig. 126: Exploded view behuizing AERE-3



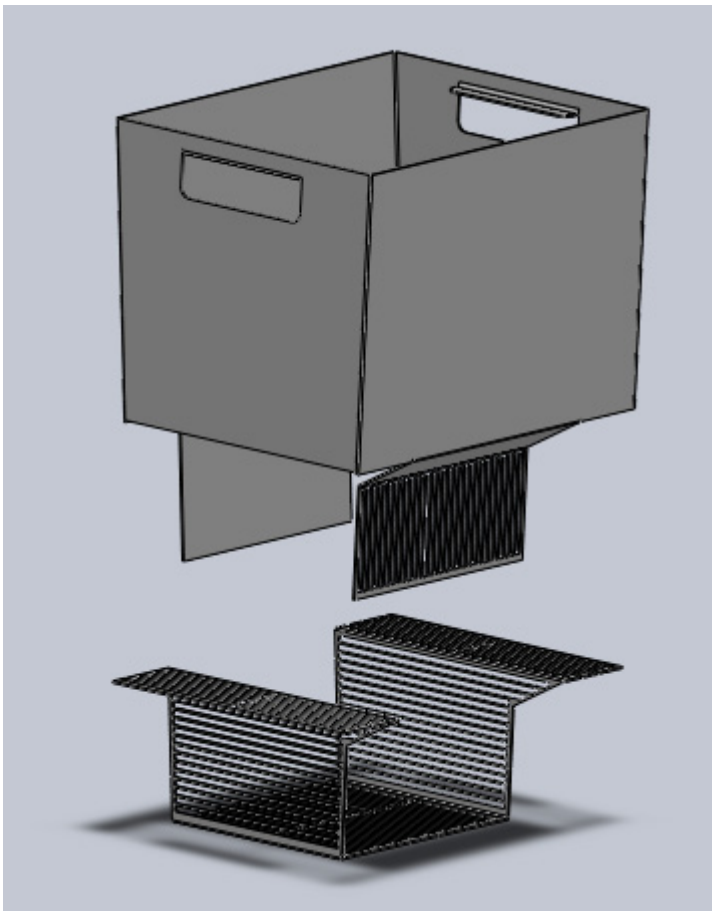


Fig. 129: Exploded view plantenbak

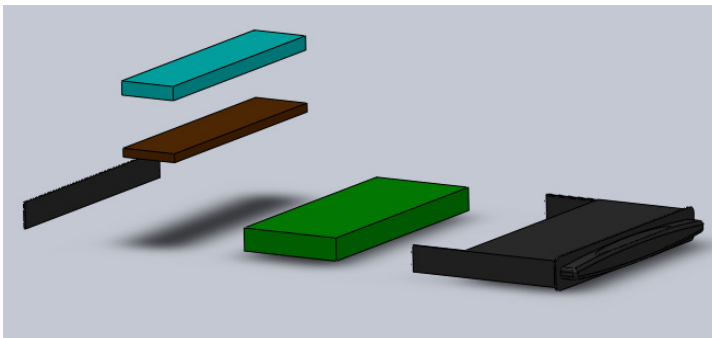


Fig. 130: Exploded view droge filters

## 6.4 Display master-unit

### 6.4.1 Hoofd-display

De hoofd-display van de master-unit kan op 2 verschillende manieren ingesteld worden. Het detaillevel kan op de 'laag' of 'hoog' ingesteld worden. Bij een laag detaillevel wordt op een eenvoudige manier de belangrijkste waarden van het systeem weergegeven. Deze display is een afgeleide van de master-unit bij de Oxygen-unit van Jaga. Deze display is interessant voor mensen die niet geïnteresseerd zijn in al de waarden van de verschillende sensoren in het systeem. De display ziet er als volgt uit:

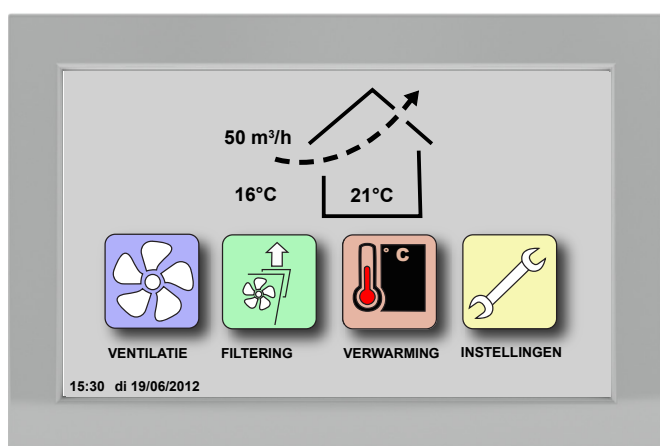


Fig. 131: Display met laag detaillevel

Het display toont het uur, de datum, de temperatuur binnen en buiten en het debiet waarmee het systeem ventileert op dat moment. Indien de gebruiker nog extra informatie wil opvragen, kan deze op het icoon drukken waarover hij iets meer wil weten. Dit wordt later verder besproken.

Indien de gebruiker voortdurende feedback wil van al de sensoren, kan deze het hoge detaillevel selecteren. Hierbij worden al de gegevens van de verschillende functies en sensoren getoond. Voor nog specifiekere cijfers en grafieken kan de gebruiker ook bij deze stand extra info verkrijgen indien hij op het icoon drukt waarover hij meer informatie wenst.

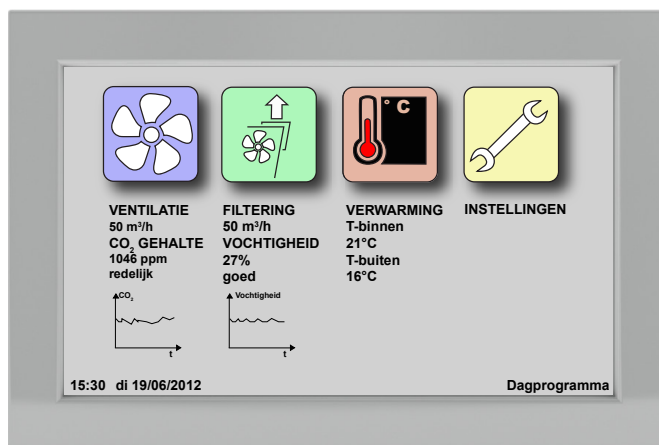


Fig. 132: Display met hoog detaillevel

### 6.4.2 Functies

Indien het icoon van ventilatie, filtering of verwarming geselecteerd wordt, komt de gebruiker op een pagina waar hij gedetailleerde informatie kan terugvinden. Dit is te zien in volgende displays. Van zodra men weg gaat van de hoofddisplay, kan men rechtsboven altijd terugkeren met de 'return'-knop.

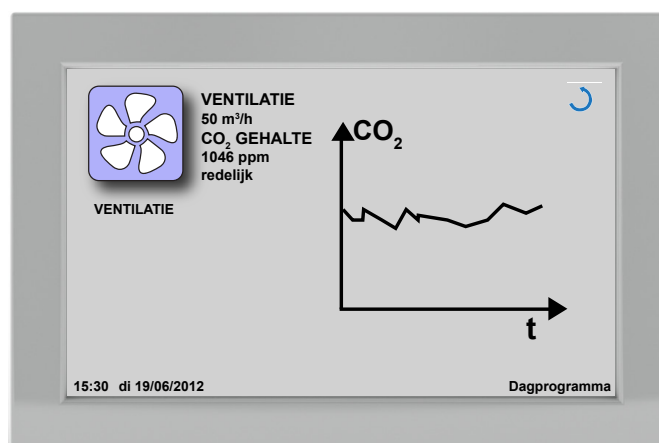


Fig. 133: Display ventilatie

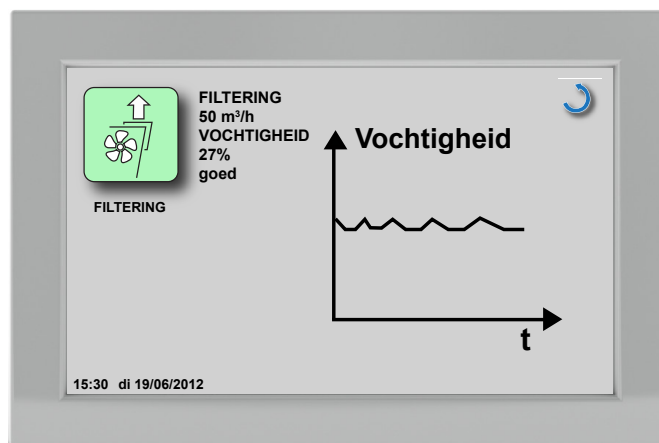


Fig. 134: Display filtering



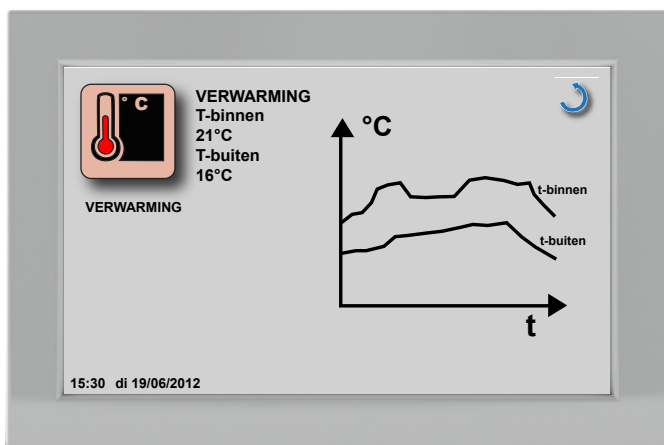


Fig. 135: Display verwarming

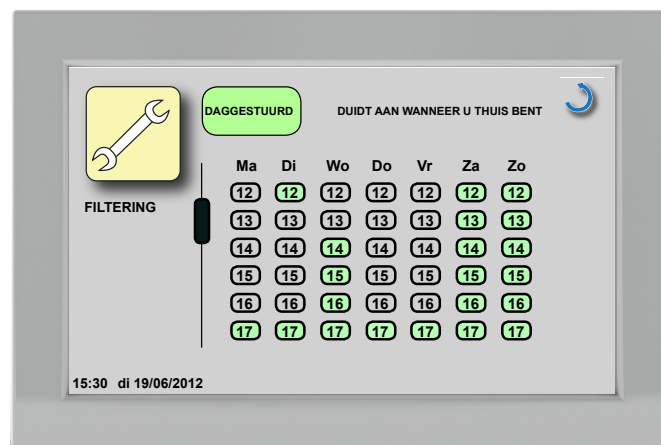


Fig.137: Display instellingen daggestuurde filtering

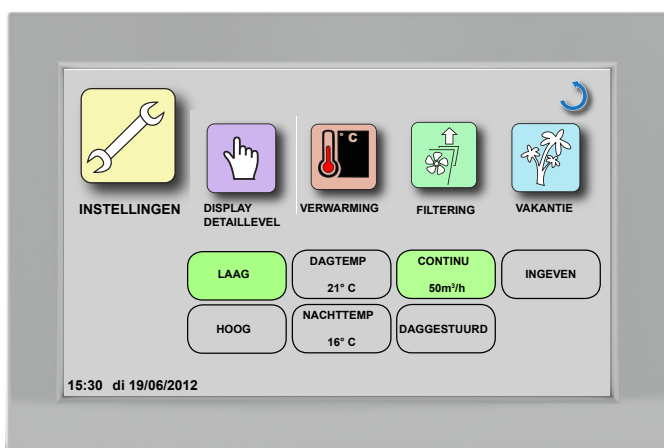


Fig. 136: Display instellingen

Bij de "instellingen" kan de gebruiker aanpassingen doen. Hij kan hier het detaillevel van de display bepalen, de dag- en nachttemperatuur aanpassen, de instellingen voor de filtering veranderen en een vakantie aangeven waarin het systeem minder vermogen hoeft te gebruiken. Om het detaillevel van de display in te stellen hoeft de gebruiker enkel op laag of hoog te drukken. Als hij gekozen heeft en hij duwt op "laag", zal dit groen worden. Dit wil zeggen dat deze optie gekozen is. Voor het instellen van de temperatuur moet de gebruiker op de knop duwen en dan kan hij vervolgens de temperatuur instellen. Voor de filtering kan de gebruiker de continue filtering kiezen. Hier zal hij zoals bij de temperatuur na het drukken een waarde mogen invoegen. Indien de gebruiker een daggestuurde filtering wil instellen, krijgt hij volgende display.

Op de display kan hij de uren aanduiden wanneer hij thuis is. Deze uren worden dan groen. Met een schuifbalk kan hij hoger en lager bewegen.

Ten slotte gebeurt het instellen van een vakantie op dezelfde manier als de uraanduiding bij de daggestuurde filtering.

Als het systeem een fout ontdekt of er wordt een gevaarlijke concentratie CO<sub>2</sub> waargenomen, dan zal er een gevarendriehoek knipperen op de master-unit. Als de gebruiker op de driehoek duwt, komt er tevoorschijn wat het probleem is en waar het zich bevindt. Zo kan de gebruiker op het probleem of mogelijke bedreiging reageren.

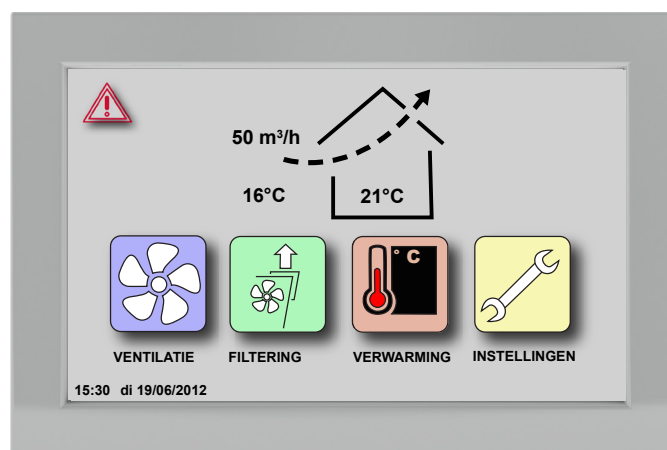


Fig. 138: Display met waarschuwingssignaal

## 7. Freedom to operate

Uit een grondig patentonderzoek blijkt dat er geen patenten zijn waarmee het nieuwe concept in conflict kan geraken. De combinatie van verwarming en ventilatie komt wel eens voor maar een grondige filtering wordt tot hier toe niet geïmplementeerd. Het gebruik van een natte filtering of bio-scrubber in een ventilatie-unit in een woonkamer of bureau is ook uniek.

BijzonderzoeknaardemerksnaamAEREisvastgesteld dat deze in de benelux nog niet gebruikt wordt. Op de site voor Europese inschrijvingen brengt de naam 19 resultaten op, waarvan slechts 6 de naam 'AERE' hebben. De anderen hebben hier variaties op of hebben meerdere woorden in hun naam. De namen worden gebruikt voor bedrijven die niet in de ventilatiesector zitten. Zo zijn er drank, manicuren, brillen, enzovoort. Ook hier is het een positief resultaat. De naam komt niet in gedrang met andere bedrijven.

Na verder onderzoek en testing van het systeem is het product klaar voor op de markt te komen.

## Bronnen

Aerofil fijnstoffilters, fijnstoffilters voor natuurlijke ventilatie. Available at: <[http://www.aerofil.nl/files\\_cms/bestand/72149.pdf](http://www.aerofil.nl/files_cms/bestand/72149.pdf)> [accessed 20 maa]

Arti-flora, uitleg hydrocultuur. Available at: <[http://www.hydrocultuurwinkel.nl/index.php?action=extra&extra=A\\_uitleg\\_hydrocultuur&lang=NL](http://www.hydrocultuurwinkel.nl/index.php?action=extra&extra=A_uitleg_hydrocultuur&lang=NL)> [accessed 23 jan 2012]

Batibouw, 2012. Hoe ventileren? Available at <[http://www.batibouw.be/index.cfm?Content\\_ID=147049465](http://www.batibouw.be/index.cfm?Content_ID=147049465)> [accessed 16 nov 2011]

BiBa, 2009-2010. Eindrapport voor de studie "Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting". Available at: <<http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/onderzoek/BiBa>> [accessed 14 nov 2011]

catec CO2 filters, EE89. Available at: [http://www.catec.nl/producten/meet-instrumentatie/CO2-gassen/oem-modulen.php?we\\_objectID=448](http://www.catec.nl/producten/meet-instrumentatie/CO2-gassen/oem-modulen.php?we_objectID=448) [accessed 2 feb 2012]

Decagon device, EC-5 soil moisture sensor. Available at: <<http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/ec-5-soil-moisture-small-area-of-influence/>> [accessed 13 jan 2012]

ebmpapst, RG 160-28/12 NM. Available at: <[http://www.ebmpapst.com/en/products/compact-fans/radial-compact-fans/radial\\_compact\\_fans\\_detail.php?plD=54055](http://www.ebmpapst.com/en/products/compact-fans/radial-compact-fans/radial_compact_fans_detail.php?plD=54055)> [accessed 6 maa 2012]

Eutrio, 2010. Kwaliteit in de verschillende leefruimten, available at: <<http://www.eutrio.be/nl/kwaliteit-van-de-binnenlucht-de-verschillende-leefruimten>> [accessed 4 nov 2011]

Informatiepunt Duurzaam bouwen, 2008. Toekomstgericht bouwen. Available at: <<http://www.ipdubo.nl/brochures/toekomstgericht%20bouwen.pdf>> [accessed 5 nov 2011]

Jongeneel WP, 2010. Wat zijn de mogelijke gezondheidsgevolgen van een slechte binnenmilieukwaliteit? In: Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid. Available at: <<http://www.nationaalkompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/binnenmilieu/wat-zijn-de-mogelijke-gezondheidsgevolgen-van-een-slechte-binnenmilieukwaliteit/>> [accessed 4 nov 2011]

Kamerplantonline, spathiphyllum mont blanc. Available at: <<http://www.kamerplantonline.nl/spathiphyllum-mont-blanc.html>> [accessed 14 maa 2012]

Marc Bishop, 2009. Asthma and Indoor Air: Using Research, Making Changes at Home and School, Available at: <[http://healthyschoolscampaign.typepad.com/healthy\\_schools\\_campaign/2009/04/asthma-and-indoor-air-making-changes-at-home-and-school.html](http://healthyschoolscampaign.typepad.com/healthy_schools_campaign/2009/04/asthma-and-indoor-air-making-changes-at-home-and-school.html)> [accessed 4 nov 2011]

Onderwijspublicaties Vlaanderen, 2008. Rationeel energiegebruik: passiefscholen[pdf] available at: <<http://www.ond.vlaanderen.be/publicaties/?get=nl>> [accessed 19 nov 2011]

Pollutioncontrol, 2009. Ways to eliminate poor air quality. Available at <<http://www.slideshare.net/AirQuality/ways-to-eliminate-poor-air-quality>> [accessed 4 nov 2011]

S&P, ventilatie richtlijnen. Available at:  
<[http://www.soler-palau.be/\\_nl/pdf/aeraulique.pdf](http://www.soler-palau.be/_nl/pdf/aeraulique.pdf)> [accessed 17 maa]

Tieben vastgoed, 2011. Energie zuinig. Available at:  
[http://www.tiebenvastgoed.nl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=113&Itemid=166&lang=nl](http://www.tiebenvastgoed.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=166&lang=nl) [accessed 14 jan 2012]

Vanderstadt H. 2011. Het autonome huis voor meer energiezuikerheid, nieuwsbrief nr 1. Available at:  
<<http://www.eco-housing.be/aanbod/nieuwsbrieven/>> [accessed 3 nov 2011]

Ventilatietechniek, 2006. Ventilatiesystemen C en D nader bekeken. Available at:  
<<http://www.dwa.nl/uploads/File/artikelen/2006/VV+0906.pdf>> [accessed 13 feb 2012]

VIBE, 2008. Binnenlucht verversen: waarom en hoe? Available at: <[http://www.curbain.be/download/2008-10-09\\_Natuurlijkeventilatieinbestaandegebouwen.pdf](http://www.curbain.be/download/2008-10-09_Natuurlijkeventilatieinbestaandegebouwen.pdf)> [accessed 16 nov 2011]

Wolverton B. 1989. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Available at <<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?Ntx=mode%20matchallpartial&Ntk=All&N=0&No=0&Ntt=B.C%20Wolverton>> [accessed 13 nov 2011]

## Lijst met figuren

- Fig. 1: gedetecteerde stoffen, gezondheidseffecten en normen en richtlijnen
- Fig. 2: concentraties , aldehydes en fijn stof in de binnenlucht en buitenlucht BiBa-scholen
- Fig. 3: vergelijking binnenluchtconcentraties VOS in BiBa-scholen versus binnenluchtconcentraties in woningen in Vlaanderen
- Fig. 4: ventilatietypes
- Fig. 5: voor- en nadelen verschillende types ventilatiesystemen
- Fig. 6: binnenlucht zuiverend systeem met planten en actieve kool
- Fig. 7: CADR en SPE voor formaldehyde en toluen filtering
- Fig. 8: Enkele goed zuiverende planten
- Fig. 9: Gerelateerde producten
- Fig. 10: Vormbepalende aspecten
- Fig. 11: Natuurlijke convectiestroom
- Fig. 12: Morfologische fiche voor samenstelling units
- Fig. 13: Samenstelling elementen in het systeem
- Fig. 14: schema voor continue filtering
- Fig. 15: schema voor daggestuurde filtering
- Fig. 16: Beslissingsschema continue filtering met CO<sub>2</sub> en temperatuurgestuurde ventilatie
- Fig. 17: Beslissingsschema daggestuurde filtering en CO<sub>2</sub> en temperatuurgestuurde ventilatie
- Fig. 18: Afmetingen Low H<sub>2</sub>O-convectoren
- Fig. 19: Afmetingen en bijhorende vermogens Low H<sub>2</sub>O-convectoren
- Fig. 20: Beslissingsschema verwarming
- Fig. 21: Bodemvochtigheidssensor Decagon
- Fig. 22: Elektronische vlotter
- Fig. 23: Vlotterschakelaars
- Fig. 24: PTFE-buizen
- Fig. 25: Waterniveau indicator met vlotterprincipe
- Fig. 26: EE-89 GR CO<sub>2</sub>-sensor
- Fig. 27: EE-89 testboard GR CO<sub>2</sub>-meting
- Fig. 28: EE-03 GR vochtigheid en temperatuursensor
- Fig. 29: Beslissingsschema verwarming
- Fig. 30: Hedera Algeriensis
- Fig. 31: Spathiphyllum (peace lilly)
- Fig. 32: Aanvoerbuizen en muurroosters Jaga
- Fig. 33: Groffe filter in Oxygen-unit van Jaga
- Fig. 34: Aerofil fijnstoffilter
- Fig. 35: RG 160-28/12 NM
- Fig. 36: curve ventilator
- Fig. 37: Oxygen-unit geluidsisolatie Jaga
- Fig. 38: Drukverliezen in ronde kanalen
- Fig. 40: equivalente diameters van rechthoekige kanalen
- Fig. 41: AERE-1
- Fig. 42: Stap 1 installatie AERE-1
- Fig. 43: Stap 2 installatie AERE-1
- Fig. 44: Detail Stap 2 installatie AERE 1
- Fig. 45: Stap 3 installatie AERE-1
- Fig. 46: Detail stap 3 installatie AERE-1
- Fig. 47: Stap 4 installatie AERE-1
- Fig. 48: Stap 5 installatie AERE-1
- Fig. 49: Detail Stap 5 installatie AERE-1
- Fig. 50: AERE-1 klaar voor gebruik
- Fig. 51: Thermostaar AERE-1

Fig. 52: Stap 1 onderhoud AERE-1  
Fig. 53: Stap 2 onderhoud AERE-2  
Fig. 54: Stap 3 onderhoud AERE-3  
Fig. 55: Natuurlijke convectie  
Fig. 56: Afmetingen AERE-1  
Fig. 57: Exploded view behuizing AERE-1  
Fig. 58: AERE-2  
Fig. 59: Stap 3 installatie AERE-2  
Fig. 60: Stap 4 installatie AERE-2  
Fig. 61: Stap 5 installatie AERE-2  
Fig. 62: Detail stap 5 installatie AERE-2  
Fig. 63: Stap 6 installatie AERE-2  
Fig. 64: Stap 7 installatie AERE-2  
Fig. 65: Detail stap 7 installatie AERE-2  
Fig. 66: Detail stap 7 installatie AERE-2 thermostaat  
Fig. 67: Thermostaat met verlengstuk van Jaga  
Fig. 68: AERE-2 klaar voor gebruik  
Fig. 69: Plaatselijke bediening aanvoer-unit AERE-2  
Fig. 70: Stap 1: Onderhoud luchtaanvoer-unit  
Fig. 71: Stap 2: Onderhoud luchtaanvoer-unit  
Fig. 72: Luchtstroom  
Fig. 73: Luchtstroom door de aanvoer-unit  
Fig. 74: Dwarsdoorsneden aanvoer-unit  
Fig. 75: Afmetingen AERE-2  
Fig. 76: Afmetingen aanvoer-unit  
Fig. 77: Exploded view behuizing AERE-2  
Fig. 78: Exploded view ophanging AERE-2  
Fig. 79: Exploded view luchtaanvoer  
Fig. 80: AERE-3  
Fig. 81: Stap 8 intstallatie AERE-3  
Fig. 82: Detail stap 8 installatie AERE-3  
Fig. 83: Stap 9 installatie AERE-3  
Fig. 84: Stap 10 installatie AERE-3  
Fig. 85: Stap 11 installatie AERE-3  
Fig. 86: Stap 12 installatie AERE-3  
Fig. 87: Detaillering stap 12 installatie AERE-3  
Fig. 88: Detaillering stap 11 installatie AERE-3  
Fig. 89: Stap 13 installatie AERE-3  
Fig. 90: Stap 14 installatie AERE-3  
Fig. 91: Stap 15 installatie AERE-3  
Fig. 92: Detaillering stap 15 installatie AERE-3  
Fig. 93: Stap 16 installatie AERE-3  
Fig. 94: AERE-3 klaar voor gebruik  
Fig. 95: Plaatselijke bediening aanvoer-unit AERE-3  
Fig. 96: Plaatselijke bediening filtering AERE-3  
Fig. 97: Verwijderen tussenplaat voor onderhoud  
Fig. 98: Onderhoud aanvoer-unit  
Fig. 99: Onderhoud droge filters AERE-3  
Fig. 100: Vervangen droge filters  
Fig. 101: Toevoeging nutriënten  
Fig. 102: Beschermingsrooster verwijderen  
Fig. 103: Plantenbak opheffen  
Fig. 104: Luchtstroom door ventilator van de filtering

Fig. 105: Dwarsdoorsnede mer luchtstroom ventilator  
Fig. 106: Dwarsdoorsneden ventilator-unit van de filtering  
Fig. 107: Dwarsdoorsneden drukkamer en bassin  
Fig. 108: Dwarsdoorsneden ventilator-unit filtering  
Fig. 109: Ventilator-unit en bassin-unit  
Fig. 110: Luchtstroom door plantenbak  
Fig. 111: Hydrocultuur  
Fig. 112: Communicerende vaten  
Fig. 113: Dompelpomp  
Fig. 114: Slangen voor irrigatie  
Fig. 115: Besproeid oppervlak  
Fig. 116: Beschermende rooster voor waterstraal  
Fig. 117: Dompelschakelaar  
Fig. 118: Vlotterindicatie waterlevel  
Fig. 119: Afmetingen AERE-3  
Fig. 120: Afmetingen ventilator-unit  
Fig. 121: Afmetingen onderhoudesplaat  
Fig. 122: Afmetingen bassin-unit  
Fig. 123: Afmetingen plantenbak  
Fig. 124: Afmetingen waterreservoir  
Fig. 125: Exploded view AERE-3 overzicht  
Fig. 126: Exploded view behuizing AERE-3  
Fig. 127: Exploded view ventilator van de filtering AERE-3  
Fig. 128: Exploded view Bassin-unit en irrigatiesysteem  
Fig. 129: Exploded view plantenbak  
Fig. 130: Exploded view droge filters  
Fig. 131: Display met laag detaillevel  
Fig. 132: Display met hoog detaillevel  
Fig. 133: Display ventilatie  
Fig. 134: Display filtering  
Fig. 135: Display verwarming  
Fig. 136: Display instellingen  
Fig. 137: Display instellingen daggestuurde filtering  
Fig. 138: Display met waarschuwingssignaal



### productinformatie

### VB-schuimstof

### trillingisolierend & geluidabsorberend schuim

#### VB-schuimstof

Een gerecycleerd product op basis van opencellig, elastisch polyurethaanschuim met geluidabsorberende en trillingisolerende eigenschappen. Afhankelijk van de toepassing kunnen densiteiten geleverd worden variërend van  $80 \text{ kg/m}^3$  -  $120 \text{ kg/m}^3$ .

VB-schuimstof heeft een veelzijdig toepassingsgebied. Enkele voorbeelden: als trillingisolator voor het trillingvrij opstellen van machines, voor het samenstellen van zwevende dekvloeren en geluidisolerende voorzetwanden in gebouwen en schepen, als contactgeluiddempend ondertapijt voor vloerbedekking en parketvloer

Het wordt gemaakt van snijafval dat ontstaat bij het vervaardigen en verwerken van zachte schuimstoffen. Dit snijafval wordt tot vlokken vermaald. Na toevoeging van bindmiddelen worden deze samengeperst tot blokken, die vervolgens verzaagd worden tot platen. Afhankelijk van de benodigde densiteit worden de blokken meer of minder samengeperst.

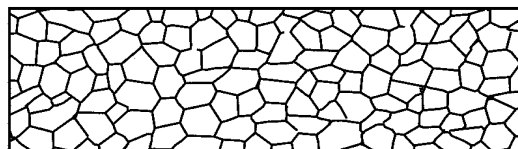
#### toepassingsgebieden

- || Als geluidabsorberend schuim.
- || Als trillingisolator voor verbetering van contactgeluidisolatie van een verdiepingsvloer in combinatie met bijvoorbeeld gipsvezelplaten of een opgestorte laag beton.
- || Voor verbetering van de geluidisolatie van bestaande scheidingswanden in combinatie met gipskarton- of gipsvezelplaten.
- || Als contactgeluiddempend ondertapijt voor vloerbedekking.
- || Als thermische isolatie.
- || Voor het samenstellen van geluidisolerende scheidingswanden. VB-schuimstof wordt dan bijvoorbeeld aan beide zijden met gipskarton beplakt.



#### technische gegevens

- || Bestand tegen temperaturen van  $-40^\circ\text{C}$  tot  $+100^\circ\text{C}$  en tegen water, olie, alkalische stoffen, enz.
- || Ongevoelig voor schimmelvorming e.d.
- || Thermische isolatiewaarde :  $\lambda 0,035 \text{ W / mk}$ .
- || Gewicht : afhankelijk van de densiteit variërend van  $80 - 120 \text{ kg/m}^3$ .
- || Type            Dikte
  - D 80            vanaf 20mm (40mm is standaard)
  - D 100          vanaf 5 tot 60mm
  - D 120          vanaf 5 tot 60mm
- || Blijvende elasticiteit en goed herstelvermogen.
- || Bestand tegen knaagdieren en insecten.
- || Kleur : bont.
- || Elke vlok in het schuim is apart te onderscheiden.





## illdem

Een zelfklevende ontbreuningsplaat op basis van met polymer gemodificeerde bitumen en speciale vulstoffen. De plaat combineert een hoge specifieke massa met een hoge inwendige demping. Naast een ontbreunende werking wordt daarmee ook een toename van de luchtgeluidisolatie gerealiseerd bij dunne wanden van plaatstaal, aluminium, hout of kunststof. De dempende werking is optimaal bij temperaturen van ca. 20°C.

## toepassingen

Toepassingsvoorbeelden zijn machine- en gevelbeplating, waterslagen, radiatoromkastingen en spoelbakken.

## technische gegevens

- Demping (verliesfactor), gemeten volgens DIN 53440.
- De ontbreuningsplaat is als volgt bestand tegen temperaturen :
  - kortdurend : -30°C tot +180°C
  - langdurend : -30°C tot +80°C
- Daarnaast is het bestand tegen water en olie, maar niet tegen langdurige weersinvloeden en brandstoffen. De ontbreuningsplaat is bestand tegen -30°C, mits het verlijmd wordt op een ondergrond.
- Van illdem zijn geen toxische eigenschappen bekend.
- De zelfklevende lijmlaag (op basis van oplosmiddelvrije acrylaat copolymeren) hecht zeer goed op een gelakte en ongelakte (gladde) ondergrond.
- Vlamdovend volgens :
  - DIN 4102 : B2
  - DIN 75200 (ISO 3795)
  - FMVSS 302
- Dikte in mm            3,5mm 5mm 5,5mm
- Gewicht in kg/m<sup>2</sup>    5 kg 8kg 10 kg
- Goede demping
 

■ op staalplaat tot mm	1	2	3	4
■ op aluminium tot mm	2	3	4	5



- Kleur van de plaat : zwart.
- Afmeting van de platen : 1500 x 1030 mm.
- Andere afmetingen of dikten op aanvraag.

## verwerkingsadvies

- Eenvoudig op maat en in vorm te snijden met een mes of (plaat)schaar, zonder speciaal gereedschap.
- Door te verwarmen tot 60°C - 80°C (in een oven of met een infrarood-straler of brander) wordt het zo soepel dat het gemakkelijk de vormen van een niet-vlakke ondergrond aanneemt.
- De te bekleden vlakken goed droog, stof- en vetvrij maken.
- Bescherm papier van de lijmlaag verwijderen. Illdem aanbrengen op de ondergrond en goed aandrukken of rollen om luchtinsluitingen te voorkomen.
- De beste hechting ontstaat als het materiaal met een straalkachel, föhn of brander verwarmd wordt tot ca. 80°C, daarna met een rol aandrukken.
- Voor een optimale werking van de zelfklever is het aan te bevelen illdem niet te verwerken onder 20°C.



Onderzoekswerk met softwareprogramma Epi-web. Hiermee is de bio-afbreekbaarheid van formaldehyde berekend.

D:\KdG\episummary\_out.doc

Note: the sorbed fraction may be resistant to atmospheric oxidation

Soil Adsorption Coefficient (KOCWIN v2.00):

Koc : 1 L/kg (MCI method)
Log Koc: 0.000 (MCI method)
Koc : 7.752 L/kg (Kow method)
Log Koc: 0.889 (Kow method)

Aqueous Base/Acid-Catalyzed Hydrolysis (25 deg C) [HYDROWIN v2.00]:
Rate constants can NOT be estimated for this structure!

Bioaccumulation Estimates (BCFBAF v3.01):

Log BCF from regression-based method = 0.500 (BCF = 3.162 L/kg wet-wt)
Log Biotransformation Half-life (HL) = -1.2600 days (HL = 0.05495 days)
Log BCF Arnot-Gobas method (upper trophic) = 0.024 (BCF = 1.056)
Log BAF Arnot-Gobas method (upper trophic) = 0.024 (BAF = 1.056)
log Kow used: 0.35 (expkow database)

Volatilization from Water:

Henry LC: 3.37E-007 atm-m3/mole (Henry experimental database)
Half-Life from Model River: 952.6 hours (39.69 days)
Half-Life from Model Lake : 1.044E+004 hours (434.9 days)

(volledig opgelost.)

Removal In Wastewater Treatment:

Total removal: 92.07 percent
Total biodegradation: 91.72 percent
Total sludge adsorption: 0.34 percent
Total to Air: 0.00 percent
(using Biowin/EPA draft method)

Handwritten notes: -> n ongeveer tot op de H2O
-> komt vast te zitten op al wat micro-organismen (heel weinig)
-> niet vluchtig

Level III Fugacity Model:

Table with 4 columns: Mass Amount (percent), Half-Life (hr), Emissions (kg/hr), and a fourth column with values 1000, 1000, 1000, 0. Rows include Air, Water, Soil, and Sediment.

....

Handwritten: formaldehyde

Handwritten in a box: ook eens opzoeken op Toluene.

Handwritten: bio-afbreekbaarheid van Toluene.

Adsorption ability of non-impregnated activated carbon

*verschillen in concentratie  
concentratie is de  
factor*

compound	Molecular Weight (g/mol)	Conversion factor (g/m <sup>3</sup> )/ppm	Boiling point (°C)	Saturation conc. (g/m <sup>3</sup> )	loading (% w/w)		
					0,1 g/m <sup>3</sup>	1 g/m <sup>3</sup>	10 g/m <sup>3</sup>
1-hexanol	102,2	0,00425	157	2	31	39	-
1-hexene	84,2	0,00350	63	691	11	16	21
hydrogen chloride	36,5	0,00152	-85	-			
hydrogen sulphide	34,1	0,00142	-61	-			
isopropyl alcohol	60,1	0,00250	82	102	9	16	26
methanol	32,0	0,00133	65	171	1	3	11
methyl acetate	74,1	0,00308	57	698	6	12	20
methyl acrylate	86,1	0,00358	80	312	12	19	29
methyl chloride	50,5	0,00210	-24	10265	0,3	1	4
methyl ethyl ketone (MEK)	72,1	0,00300	80	280	10	15	24
methyl isobutyl ketone	100,2	0,00416	116	79	19	25	33
methyl isocyanate	57,0	0,00237	39	1086	2	5	12
methyl methacrylate	100,2	0,00416	97	152	18	25	35
methyl tert-butyl ether (MTBE <sup>®</sup> )	88,2	0,00366	55	983	11	15	21
methylene chloride	84,9	0,00353	40	1669	2	6	15
naphthalene	128,2	0,00533	218	1	43	51	-
nitrobenzene	123,1	0,00512	213	1	48	60	-
nitrotoluene	137,1	0,00570	233	0,3	55	-	-
octane	114,2	0,00475	126	65	20	25	31
ozone	48,0	0,00200	-112	-			
pentane	72,2	0,00300	36	1675	7	11	16
1-pentanol	88,1	0,00366	138	6	25	34	-
2-pentene	70,1	0,00292	37	1566	8	12	17
1-pentene	70,1	0,00292	30	2038	7	11	15
phenol	94,1	0,00391	182	1	43	57	-
propane	44,1	0,00183	-42	15110	1	2	4
n-propanol	60,1	0,00250	97	48	11	19	31
propionaldehyde	58,1	0,00241	48	812	4	8	15
propylene	42,1	0,00175	-48	17422	1	3	5
pyridine	79,1	0,00329	115	68	19	28	39
styrene	104,2	0,00433	145	25	28	35	43
1,1,2,2-tetrachloroethane	167,9	0,00698	147	28	43	57	74
tetrachloroethylene	165,9	0,00690	121	124	33	46	62
tetrahydrofuran	72,1	0,00300	66	511	9	14	23
toluene	92,1	0,00383	110	113	(21)	(28)	(35)
o-toluidine	107,2	0,00445	200	2	39	49	-
1,2,4-trichlorobenzene	181,5	0,00754	213	3	57	69	-
1,1,2-trichloroethane	133,4	0,00555	114	120	27	39	54
1,1,1-trichloroethane	133,4	0,00555	68	770	19	28	39
trichloroethylene	131,4	0,00546	87	386	21	31	45
trichlorofluoromethane	137,4	0,00571	24	4998	9	15	25
triethylamine	101,2	0,00421	89	291	16	21	27
1,2,3-trimethylbenzene	120,2	0,00500	176	8	32	39	-
1,2,4-trimethylbenzene	120,2	0,00500	169	10	31	38	46
1,3,5-trimethylbenzene	120,2	0,00500	165	11	30	37	44
vinyl acetate	86,1	0,00358	73	425	11	18	27
vinyl chloride	62,5	0,00260	-14	8654	2	4	8
m-xylene	106,2	0,00441	137	36	25	32	40
o-xylene	106,2	0,00441	144	28	26	33	41
p-xylene	106,2	0,00441	138	38	25	32	39

*afname in lucht systeem*

*0,27g  
Toluene  
2g actieve  
kool*

The conversion factor, the saturation concentration and the loading are valid at 20 °C.

## Adsorption ability of non-impregnated activated carbon

Activated carbon adsorbs mainly organic compounds, depending on the type of compound (molecular weight, vapour pressure, ...), concentration, temperature, pressure and humidity. The table below shows [the adsorption ability of various compounds in air for Airpel 10](#) (suitable for most air purification applications – product sheet is available) – Caution! These values are only indicative and not guaranteed. For not adsorbable or inorganic compounds an impregnated carbon can be used (see corresponding product-sheet).

compound	Molecular Weight (g/mol)	Conversion factor (g/m <sup>3</sup> )/ppm	Boiling point (°C)	Saturation conc. (g/m <sup>3</sup> )	loading (% w/w)		
					0,1 g/m <sup>3</sup>	1 g/m <sup>3</sup>	10 g/m <sup>3</sup>
acetaldehyde	44,1	0,00183	20	1803	1	2	7
acetic acid	60,1	0,00250	118	38	9	19	38
acetone	58,1	0,00241	56	589	3	6	13
acetonitrile	41,1	0,00171	80	163	2	6	16
acrolein	56,1	0,00233	52	681	5	9	17
acrylic acid	72,1	0,00300	79	342	8	15	27
acrylonitrile	53,1	0,00221	74	262	5	11	20
ammonia	17,0	0,00071	-33	-			
aniline	93,1	0,00387	184	2	37	48	-
benzene	78,1	0,00326	80	319	10	16	25
1,3-butadiene	54,1	0,00225	-5	5337	4	7	11
iso-butane	58,1	0,00242	-12	7187	3	5	9
butane	58,1	0,00242	-1	4951	3	6	10
1-butanol	74,1	0,00308	118	17	18	27	39
2-butanol	74,1	0,00308	100	46	15	23	33
butyl acetate	116,2	0,00483	126	54	23	30	38
carbon disulphide	76,1	0,00317	46	1239	11	19	29
carbon tetrachloride	153,8	0,00640	77	764	24	33	45
carbonyl sulphide	60,1	0,00250	-50	-			
chlorine	70,9	0,00295	-34				
2-chloro-1,3-butadiene	88,5	0,00368	59	920	13	19	27
chlorobenzene	112,6	0,00468	132	55	28	37	48
chloroethane	64,5	0,00268	12	3554	3	6	12
chloroform	119,4	0,00496	61	1014	14	23	36
2-chloropopane	78,5	0,00327	35	1881	7	11	18
m-cresol	108,1	0,00450	202	1	44	55	-
o-cresol	108,1	0,00450	191	1	46	60	-
p-cresol	108,1	0,00450	202	0,3	53	-	-
cumene	120,2	0,00500	152	22	28	35	42
cyclohexane	84,2	0,00350	81	357	12	17	25
cyclohexanone	98,1	0,00408	155	18	26	35	46
p-dichlorobenzene	147,0	0,00611	174	10	42	52	64
o-dichlorobenzene	147,0	0,00611	180	8	45	56	-
dichlorodifluoromethane	120,9	0,00503	-60	64136	2	4	8
1,2-dichloorethane	99,0	0,00411	84	335	15	24	36
cis-1,2-dichloroethylene	96,9	0,00403	60	865	11	19	30
1,1-dichloroethylene	96,9	0,00403	32	2625	9	15	23
1,4-dioxane	88,1	0,00366	101	139	15	24	35
epichlorohydrin	92,5	0,00385	118	62	19	30	45
ethanol	46,1	0,00192	78	111	4	10	21
ethyl acetate	88,1	0,00366	77	356	18	24	31
ethyl acrylate	110,1	0,00458	99	176	19	26	34
formaldehyde	30,0	0,00125	-20	-	-	-	-
heptane	100,2	0,00417	98	194	16	21	26
1-heptanol	116,2	0,00483	176	1	35	43	-
1-heptene	98,2	0,00408	94	236	16	21	26
hexane	86,2	0,00358	69	564	12	16	21