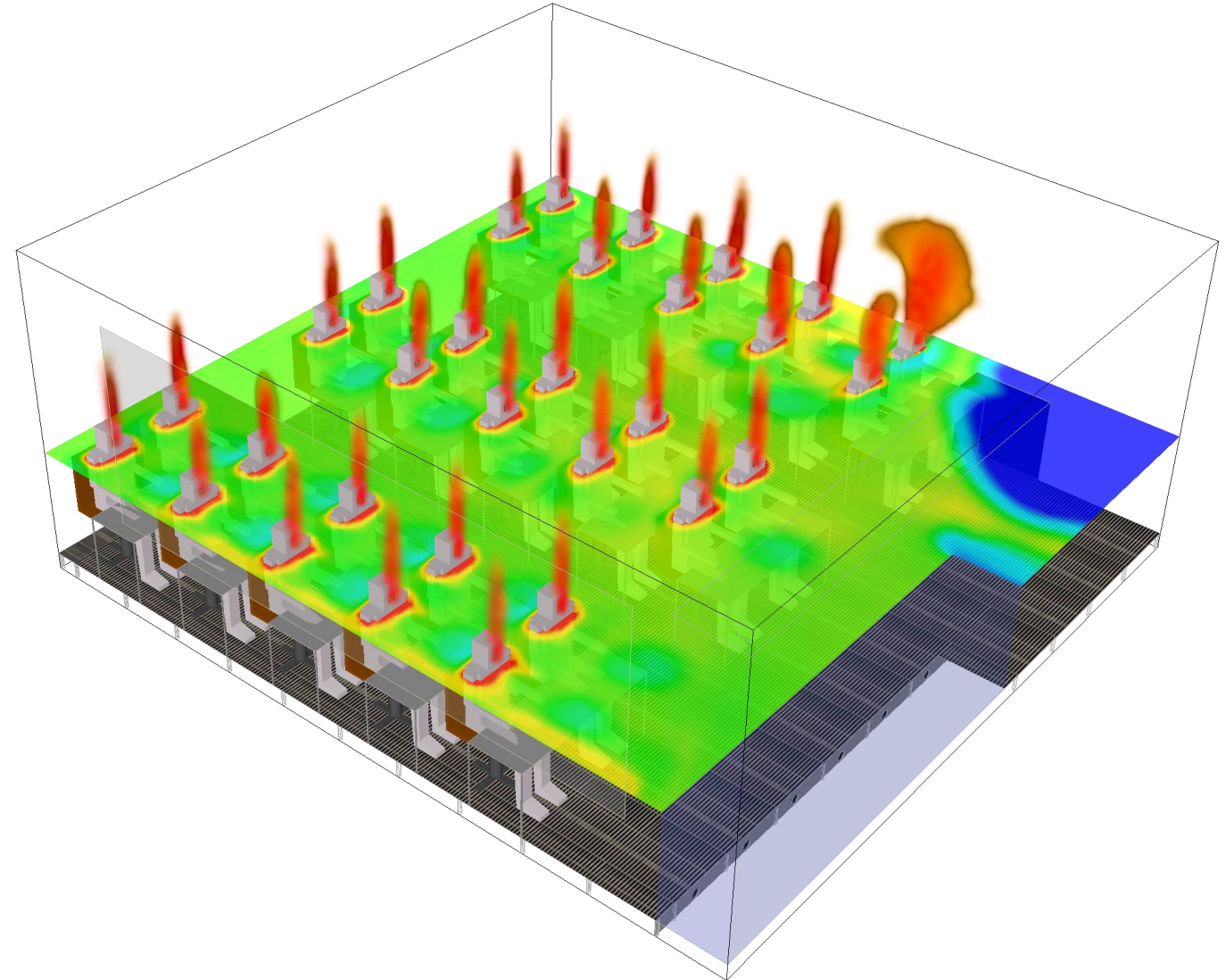


Goflow

CFD analyse



DATUM	1 - 8 - 2022
DEERNS PROJECT NO.	160.06312.00.001
STATUS	Concept
AUTEUR	Dr. ir. Loes van Gent

Project contacten

Goflow

Goflow Technology B.V.
Wattstraat 56
2171 TR Sassenheim
Nederland

Deerns

Deerns Nederland B.V.
Anna van Buerenplein 21F
2595 DA Den Haag
The Netherlands

Dr. ir. Loes van Gent

E loes.van.gent@deerns.com

W www.deerns.nl

M +31 (0)6 512 316 81

Document versie

Versie	Beschrijving	Datum	Auteur(s)
1.0	Eerste opzet	7 - 6 - 2022	LvG
2.0	Concept	1 - 8 - 2022	LvG

Inhoud

1. Inleiding

2. Achtergrond: prestaties van ventilatie

- Luchtkwaliteit
- Energie efficiëntie
- Thermisch comfort
- Aerosolen

3. Project Informatie

- Het Goflow Systeem
- 2 Alternatieve systemen
- Model van klaslokaal
- Uitgangspunten en Modelling
- Ontwerpvarianten en Scenarios

4. Analyses

- Goflow systeem
- Goflow ('omgekeerd')
- Traditioneel mengend systeem

5. Conclusies en Aanbevelingen

Inleiding

Het doel van dit onderzoek is de prestaties van het Goflow systeem te bepalen. Dit ondersteunt het ontwerpproces van Goflow en maakt het mogelijk het systeem te vergelijken met een traditioneel systeem op basis van mengventilatie. Het onderzoek richt zich op toepassing in een klaslokaal en onderscheidt de volgende prestaties: luchtkwaliteit, energie efficiëntie en thermisch comfort.

Simulaties zijn uitgevoerd met 6SigmaRoom software (release 16.2) van Future-tech.

Luchtkwaliteit

Gezonde lucht is schone, frisse lucht met een goede temperatuur en luchtvochtigheid en met weinig stofdeeltjes, en ziekteverwekkers. Ongezonde lucht in een klaslokaal kan leiden tot concentratieverlies en gezondheidsklachten. Om de lucht in een ruimte gezond te houden is het nodig de lucht te verversen. Continue verversing van lucht, oftewel ventilatie, zorgt voor de afvoer van vervuiling van personen (bio effluenten) en van het gebouw (emissies van materialen, en eventuele andere vervuilers zoals verbrandingstoestellen).

Mensen ademen meer CO₂ uit dan in. Het CO₂ gehalte in de lucht is eenvoudig te meten en wordt daarom gebruikt als indicator voor de luchtkwaliteit.* Binnenlucht met een CO₂ gehalte lager dan 800 ppm wordt gezien als gezonde lucht (zie tabel). Het benodigde ventilatiedebiet kan worden berekend aan de hand van het gewenste CO₂ gehalte en de uitstoot van een persoon (gemiddeld 0.0030 l/s p.p. - 0.0042 l/s p.p. afhankelijk van de leeftijd van de leerlingen, Persily & De Jonge (2017)).

*Noten:

Het CO₂ gehalte is alleen een goede indicatie wanneer andere bronnen van vervuiling (materialen en apparatuur) en andere grootheden (zoals temperatuur en luchtvochtigheid) niet bepalend zijn.

Het CO₂ gehalte is niet geschikt als indicator voor het risico aerogene transmissie van virussen. De uitstoot van viraal materiaal is namelijk meet de CO₂ afhankelijk van het stemgebruik van een besmettelijk persoon. Bovendien is het risico op besmetting niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid viraal materiaal in de lucht, maar ook van de verblijftijd in de ruimte.

Effecten	ppm*	Maatregelen
Slecht	> 1400 <i>Δ binnen/buiten</i> <i>>1000</i>	Maatregelen zijn hoog noodzakelijk (Direct voorlichting over ventilatiegedrag en bouwkundige maatregelen)
Onvoldoende	1000 – 1400 <i>Δ binnen/buiten</i> <i><1000</i>	Maatregelen zijn noodzakelijk (Z.s.m. voorlichting over ventilatiegedrag en zo nodig ook bouwkundige maatregelen)
Matig	800 – 1000 <i>Δ binnen/buiten</i> <i><600</i>	Maatregelen zijn wenselijk (Open klepramen of kantelramen in kantelstand)
Goed	650 – 800 <i>Δ binnen/buiten</i> <i><400</i>	Overweeg maatregelen (Begin eventueel met ventileren indien gewenst)
Zeer goed	< 650 <i>Δ binnen/buiten</i> <i><250</i>	Geen maatregelen noodzakelijk (Er is een optimaal niveau bereikt)
Buitenluchtniveau	400 <i>Kan variëren tot</i> <i>>500!</i>	N.v.t.

Bron: Handreiking Optimaal Ventileren op Scholen, Versie februari 2022

Tabel. Eisen aan luchtverversing in PvE Frisse Scholen

	Categorie C voldoende	Categorie B goed	Categorie A uitmuntend
Ventilatiedebiet (ppm CO ₂)	21,6 m ³ /h p.p. (<1200 ppm)	30,6 m ³ /h p.p. (<950 ppm)	43,2 m ³ /h p.p. (<800 ppm)

Energie efficiëntie

Het energie efficiëntie van een ventilatiesysteem is afhankelijk van meerdere factoren:

- de thermische efficiëntie van de warmteterugwinning,
- de energie-efficiëntie van ventilatoren,
- de efficiëntie van eventuele verwarming of koeling en
- de drukverliezen in het totale systeem
- de ventilatie-effectiviteit

De ventilatie-effectiviteit is een getal dat aangeeft goed een systeem de lucht in de ademzone ververs. In verreweg de meeste gebouwen wordt mengventilatie toegepast. De ventilatie-effectiviteit voor mengventilatie is 1 bij volledige menging. In de praktijk is de ventilatie-effectiviteit vaak lager door gedeeltelijk 'kortsluiting' tussen inblaas- en retourroosters.

Goflow maakt gebruik van verdringingsventilatie waarmee het mogelijk is een ventilatie-effectiviteit hoger dan 1 te realiseren (zie tabel). Voor dezelfde luchtkwaliteit in de ademzone (gemeten in ppm CO₂) is dan minder verse lucht nodig dan bij mengventilatie.

Het energiegebruik van een ventilatiesysteem kan in het algemeen worden bepaald volgens de norm NEN-EN 16798-3.

Tabel. Standaard waarden voor ventilatie effectiviteit, volgens ASHRAE Standard 62.1-2016

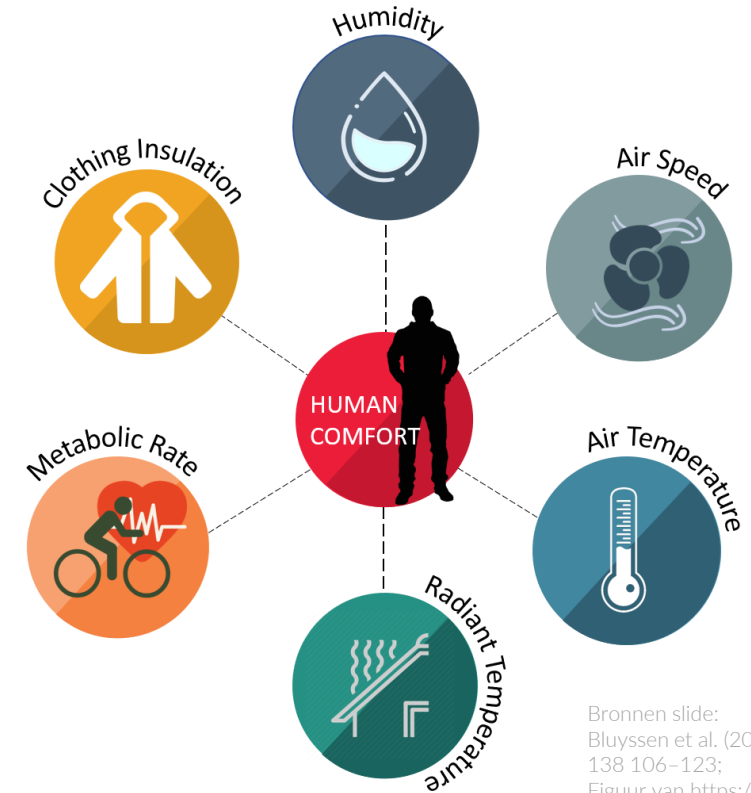
Air Distribution Configuration	Ez
Well Mixed Air Distribution Systems	
Ceiling supply of cooling air	1.0
Ceiling supply of warm air and floor return	1.0
Ceiling supply of warm air 8°C or more above space temperature and ceiling return	0.8
Ceiling supply of warm air less than 8°C above average space temperature where the supply air jet velocity is less than 0.8 m/s within 1.4 m of the floor and ceiling return	0.8
Ceiling supply of warming air less than 8°C above average space temperature where the supply air jet velocity is equal to or greater than 0.8 m/s within 1.4 m of the floor and ceiling return	1.0
Floor supply of warm air and floor return	1.0
Floor supply of warm air and ceiling return	0.7
Makeup supply outlet located more than half the length of the space from the exhaust, return, or both.	0.8
Makeup supply outlet located less than half the length of the space from the exhaust, return, or both locations	0.5
Stratified Air Distribution Systems	
Floor supply of cool air where the vertical throw is greater than or equal to 0.25 m/s at a height of 1.4 m above the floor and ceiling return at a height less than or equal to 5.5 m above the floor	1.05
Floor supply of cool air where the vertical throw is less than or equal to 0.25 m/s at a height of 1.4 m above the floor and ceiling return at a height less than or equal to 5.5 m above the floor	1.2
Floor supply of cool air where the vertical throw is less than or equal to 0.25 m/s at a height of 1.4 m above the floor and ceiling return at a height greater than 5.5 m above the floor	1.5
Personalized Ventilation Systems	
Personalized air at a height of 1.4 m above the floor combined with ceiling supply of cool air and ceiling return	1.40
Personalized air at a height of 1.4 m above the floor combined with ceiling supply of warm air and ceiling return	1.40
Personalized air at a height of 1.4 m above the floor combined with a stratified air distribution system with non-aspirating floor supply devices and ceiling return	1.20
Personalized air at a height of 1.4 m above the floor combined with a stratified air distribution system with aspirating floor supply devices and ceiling return	1.50

Thermisch comfort

Thermisch comfort is de tevredenheid over het thermisch binnenklimaat. Thermisch discomfort kan worden veroorzaakt door warmte- of koudebeleving van het lichaam als geheel. Het percentage mensen dat het te warm of te koud (predicted percentage dissatisfied, PPD) kan worden bepaald volgens het model van Fanger, gecodificeerd in verschillende standaarden (o.a. ASHRAE 55) en normen (o.a. ISO 7730 en NEN-EN 16798-1). Dit model legt een verband tussen thermisch comfort en de binnentemperatuur (stralingstemperatuur en luchttemperatuur, de lichtsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, en de kleding en activiteit van personen).

Thermisch discomfort kan ook worden veroorzaakt door lokale fenomenen: tochtbeleving, verticale temperatuurverschillen, warme of koude vloeren en asymmetrische straling van koude of warme oppervlaktes.

ISO 7730 specificeert drie categorieën van thermische klimaat (zie tabel). Deze eisen zijn verder uitgewerkt in de norm. De ISO 7730 vormt ook de basis voor het PvE Frisse Scholen. Bluysen et al. (2018) vonden dat 35% van de leerlingen in 21 Nederlandse basisscholen ontevreden was over de temperatuur, waarmee deze scholen gemiddeld ruim slechter scoren dan categorie C.



Bronnen slide:
 Bluysen et al. (2018) Build. Environ.
 138 106–123;
 Figuur van <https://www.pae-engineers.com/news/articles/a-holistic-approach-to-thermal-comfort>

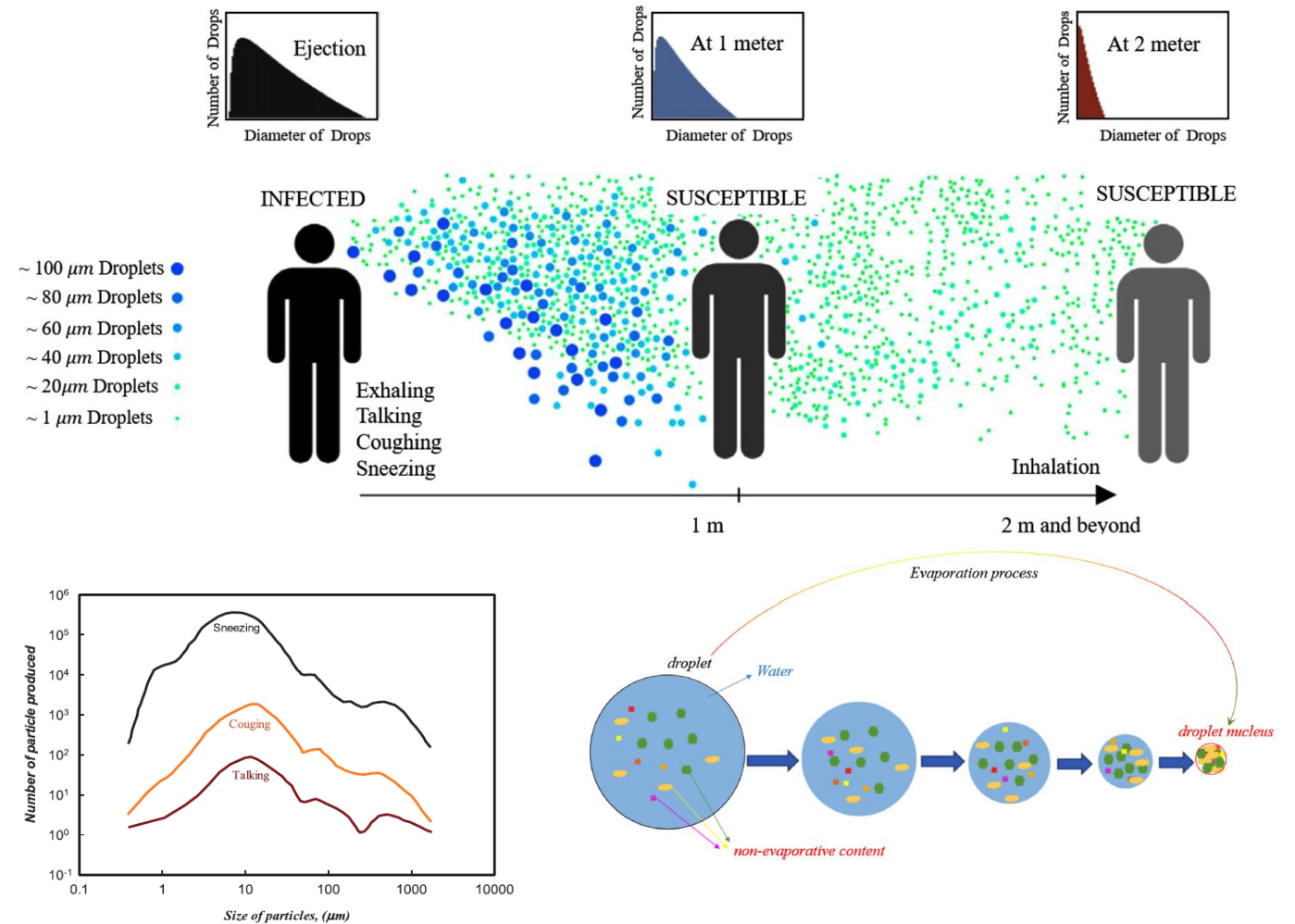
Tabel. Categorieën van thermisch klimaat volgens ISO 7730.

Cat.	Gehele lichaam, % ontevreden	Lokaal discomfort											
		Tocht			Verticale temp. gradiënt		Warme of koude vloer		Stralingstemperatuurassymmetrie				
		Draught rating, %	Max. snelh. - winter, m/s	Max. snelh. - zomer, m/s	% ontevreden	Temp. verschil, K	% ontevreden	Vloer temp. °C	% ontevreden	Warm plafond, K	Koude wand, K	Koud plafond, K	Warme wand, K
A	<6	<10	0,10	0,12	<10	2	<10	19 - 29	<5	<5	<10	<14	<23
B	<10	<20	0,16	0,19	<10	3	<10	19 - 29	<5	<5	<10	<14	<23
C	<15	<30	0,21	0,24	<15	4	<15	17 - 31	<10	<7	<13	<17	<35

Aerosolen

Na de uitbraak van het SARS-CoV-2 virus golden op scholen maatregelen om overdracht van dit virus tegen te gaan. Inmiddels zijn veel personen gevaccineerd en zijn de maatregelen (voorlopig) afgebouwd. Toch blijft er aandacht voor het voorkomen van verspreiding. Het virus wordt overgedragen via contactoppervlaktes, via relatief grote druppeltjes die naar de grond vallen, en via kleine druppeltjes (aerosolen) die langere tijd in de lucht aanwezig blijven. Waar de WHO en het RIVM eerder nog terughoudend waren om besmetting via aerogene transmissie als reëel risico te beschouwen, houden zij nu rekening met deze besmettingsroute bij onvoldoende ventilatie en een hoge virusuitstoot (afhankelijk van de activiteit en mate van besmettelijkheid van een persoon).

Het bepalen van het infectierisico door aerosolen is complex, personen stoten een breed scala aan druppeltjes uit, van (relatief) groot tot zeer klein. Hoeveel druppeltjes van welke grootte worden uitgestoten is afhankelijk van het stemgebruik en mate van inspanning (stem)activiteit, evenals als de initiële snelheid. Kleinere druppeltjes volgen de stroming beter dan zwaardere druppels die sneller landen op oppervlaktes. De grootte van druppels verandert echter door verdamping. De mate van verdamping is afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid in de ruimte en de samenstelling van het speeksel. Tegelijkertijd neemt de besmettelijkheid van viraal materiaal in druppeltjes af met een snelheid die afhankelijk is van het type virus.



Figuren uit Pourfattah et al. Phys. Fluids 33, 101302 (2021).

Aerosolen en ventilatie

Verschillende studies hebben het effecten van ventilatiesystemen op de verspreiding van aerosolen onderzocht en vergeleken. Ferrari et al (2022) geeft een overzicht van de resultaten voor klaslokalen.

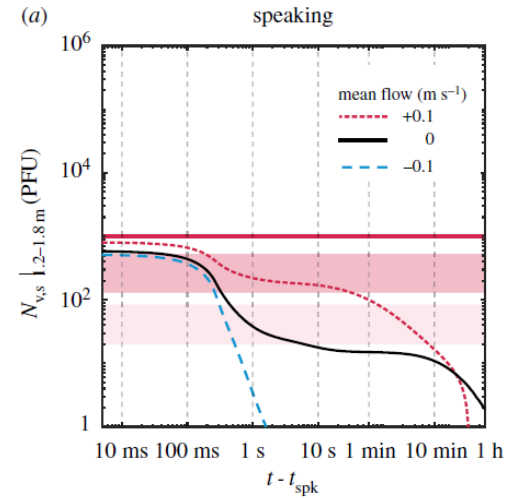
Het Goflow systeem verzorgt verticale verdringingsventilatie. Een theoretische inschatting van Bhagat et al. (2020) en resultaten van gebruikelijke CFD modellen geven gunstige resultaten voor verdringingsventilatie (bijv. Ascione et al. 2021; Cheong et al. 2021; Lipinski et al. 2020; en Rencken et al. 2022). Dit komt overeen met de bevindingen van het TNO onderzoek dat het Goflow systeem vergelijkt met een mengend systeem. Relevant voor het Goflow systeem, tonen Cheong et al (2021) gemiddeld een gunstig effect van gedistribueerde toevoer via de vloer en afvoer via het plafond.

Metingen met twee mannequins samengevat door Nielsen & Xu (2022) tonen een nadelig effect van verdringingsventilatie op afstanden korter dan 1 m. Resultaten van een model inclusief verdamping van druppeltjes van de Oliveira et al. (2021) suggereert dat een opwaartse luchtstroom tot meer aerosolen op ademhoogte kan leiden. Ook Pourfattah et al. (2011) noemen het belang in het meenemen van verdamping. Er zijn voor zover bekend echter nog geen CFD studies gepubliceerd die verdamping meenemen.

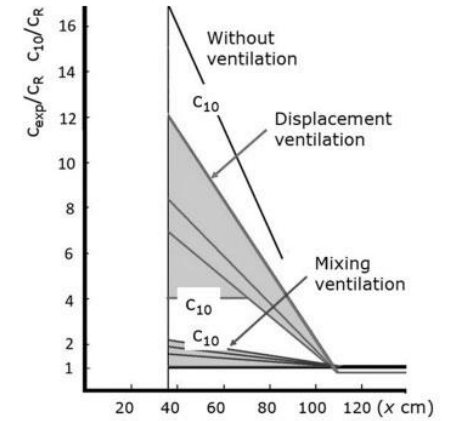
Samenvattend is het aannemelijk dat een goed ontworpen verdringingsventilatie gemiddeld tot minder aerosolen leidt dan mengventilatie en lokaal juist tot meer aerosolen. De aerosolen worden immers minder verspreid. Het effect van verdamping van druppels op het besmettingsrisico en verspreiding door de ruimte is echter nog niet voldoende onderzocht, evenals het effect van de initiële snelheid van druppeltjes. Idealiter worden deze aspecten meegenomen in CFD simulaties. De mogelijkheden hiervoor zijn gezien de huidige stand van de techniek echter niet direct beschikbaar.

Ascione et al. (2021) Energy & Buildings 230 110533
 Cheong et al. (2021) Case Studies in Thermal Eng. 28 101641
 Ferrari et al. (2022) Building and Env. 222 109366
 Izadyar & Miller (2022) Building and Env. 218 109158
 Bhagat et al.(2020). Journal of Fluid Mech. 903, F1
 Lipinski et al. (2020) Int. Jour. of Thermofluids 7-8 100045

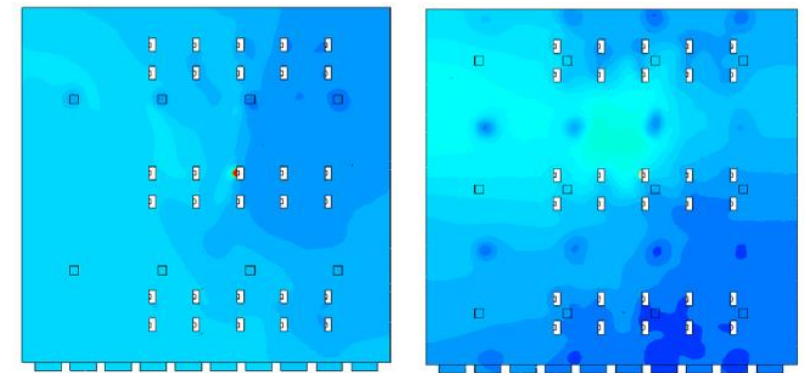
Nielsen & Xu (2022) Indoor and Built Env. 31(5) 1161-1175
 de Oliveira et al. (2021) Proc. R. Soc. A 477:20200584
 Pourfattah et al. (2021) Phys. Fluids 33, 101302
 Rencken et al. (2021) Building and Env. 204 10167
 TNO 2021 R11091



Figuur. Resultaten van een geavanceerd 'druppelmodel' van de Oliveira et al. (2020) suggereren dat een stroming omhoog tot de virale dosis op ademhoogte vergroot.



Figuur. Exposure als functie van afstand tussen 2 personen volgens een review van Nielsen & Xu (2022)



Figuur. Resultaten van Cheong et al. (2021) tonen een hogere gemiddelde concentratie aerosolen voor mengventilatie (links) dan voor verdringingsventilatie (rechts)

Het Goflow systeem

Het Goflow systeem bestaat uit:

- Een modulair opgebouwde luchtbehandelingskast met ventilatoren, warmtewisselaars, en een fijnstof filtersysteem.
- Een geperforeerde, verhoogde vloer waardoor schone lucht gelijkmatig verticaal wordt toegevoerd. Onder de vloer bevinden zich radiatoren voor verwarming/koeling van lucht en airsock-filters
- Een geperforeerd, verlaagd systeemplafond waardoor gebruikte lucht wordt afgevoerd. Boven het plafond stroomt de lucht terug naar de luchtbehandelingskast.

Het systeem wordt geregeld op basis van sensoren voor het meten van CO₂, temperatuur, fijnstof, vluchtige organische stoffen en luchtvochtigheid.

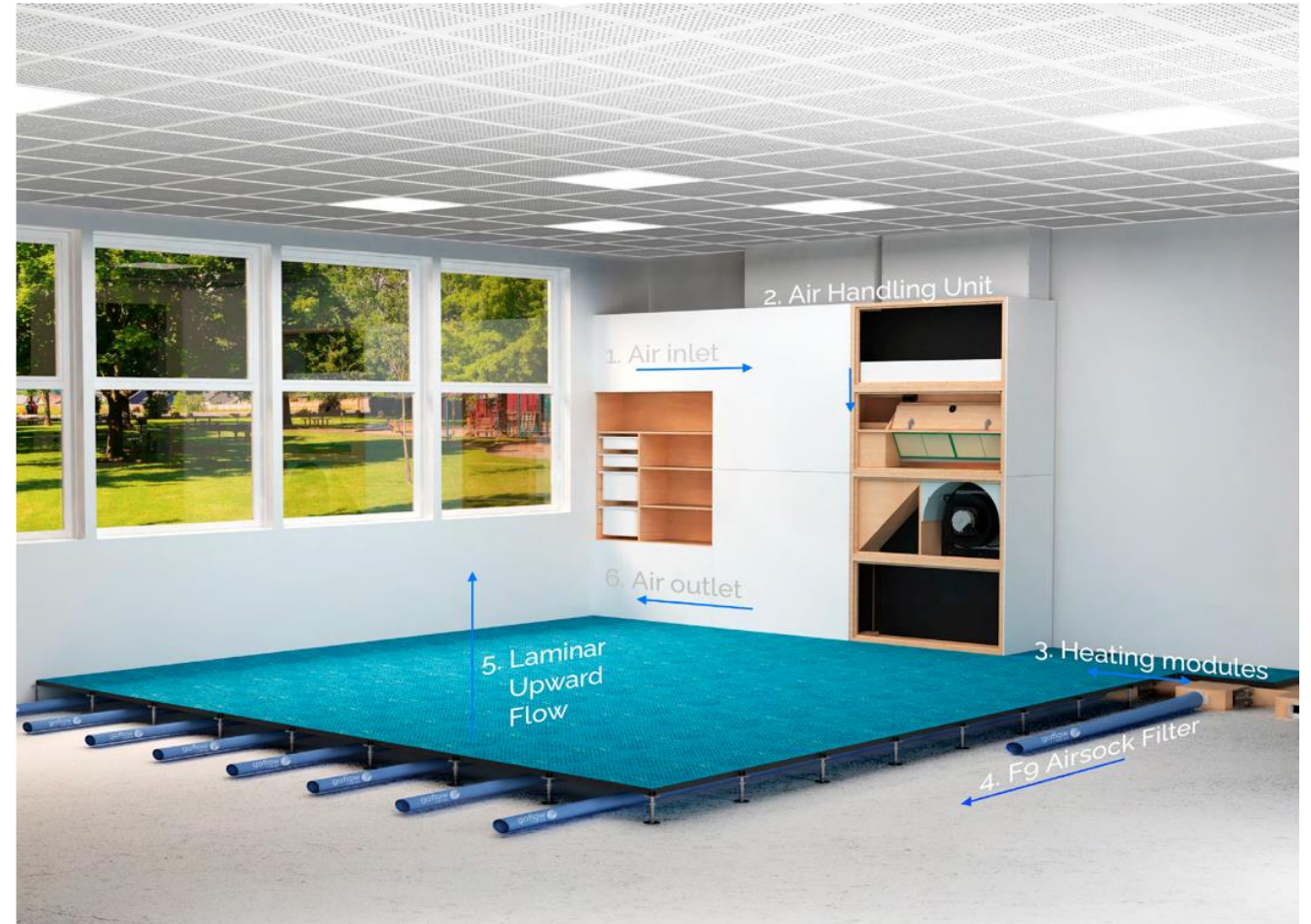
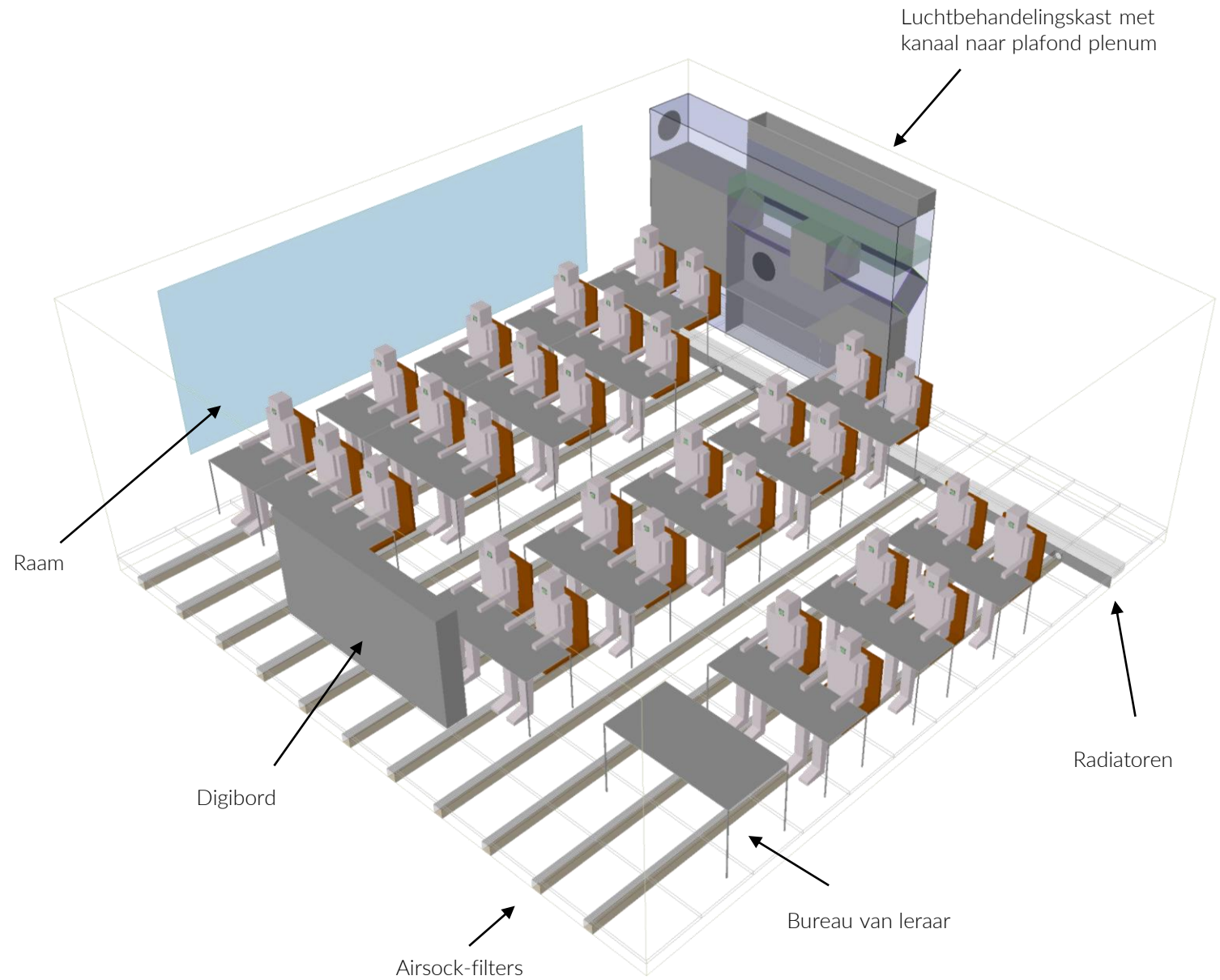
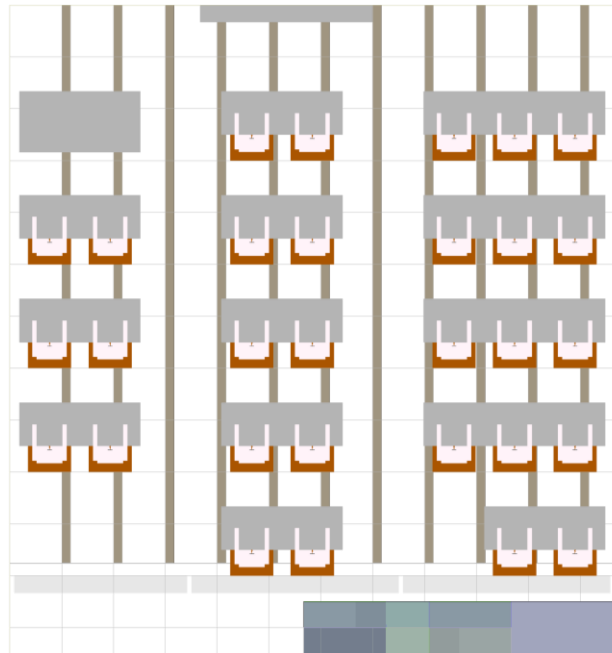


Figure – Werking van het Goflow systeem (bron: Goflow Technologies)

Model van klaslokaal

Er is een model gemaakt van het Goflow system in een standaard klaslokaal (7,0 m x 7,5 m) voor 30 leerlingen. Een wand is gemodelleerd als buitengevel met een raam.



2 alternatieve systemen

Naast het Goflow systeem simuleren we 2 alternatieve systemen:

- Het Goflow systeem, maar dan omgekeerd met een luchtstroom van boven naar beneden
- Een traditioneel systeem op basis van mengventilatie met toevoer via 4 werverroosters in het plafond en ook de retour via twee plafondroosters

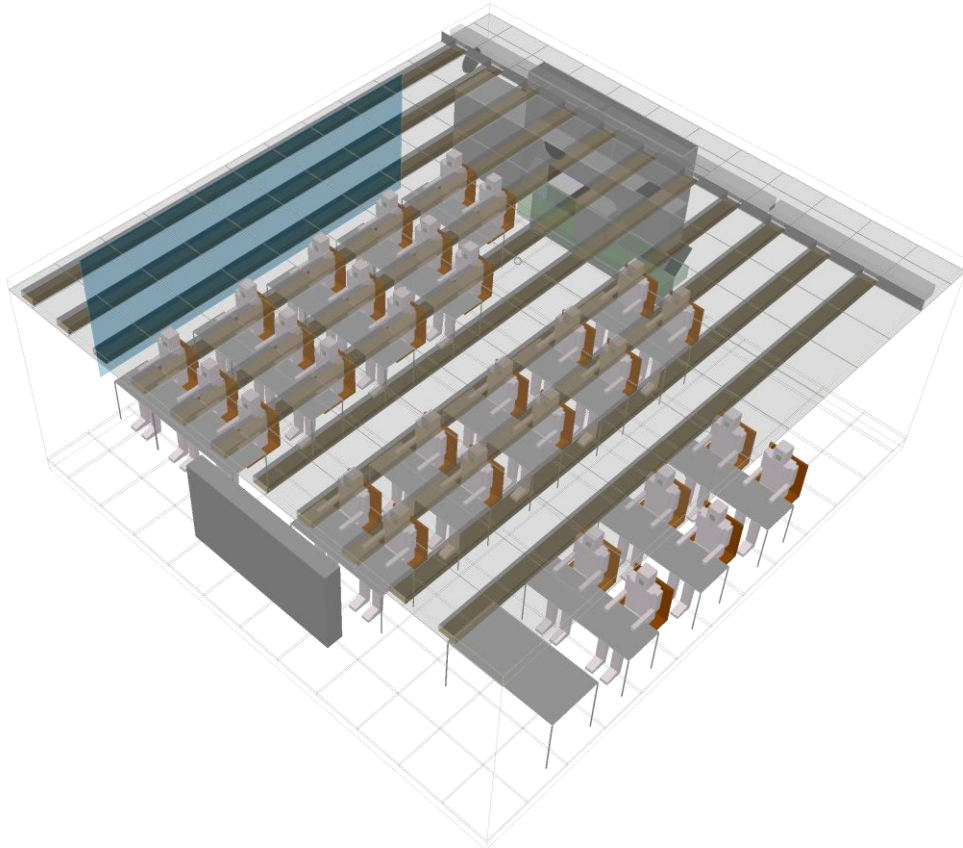


Figure – Goflow system 'omgekeerd'

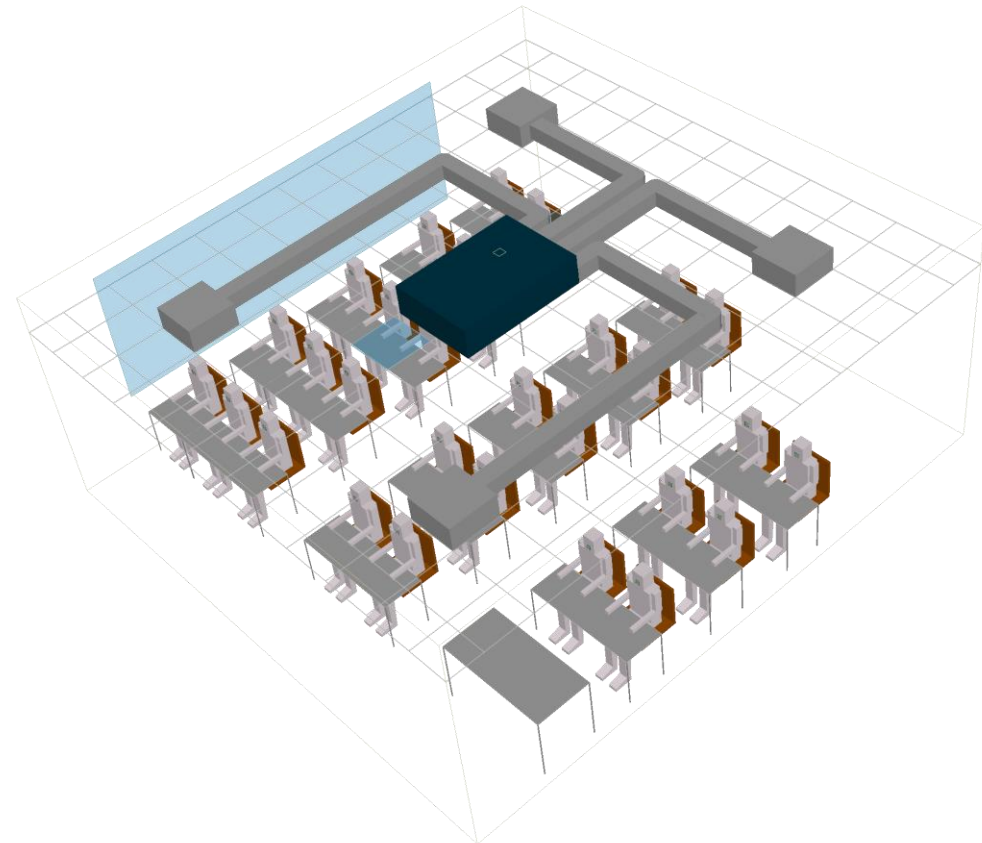


Figure – Traditioneel mengend systeem

Aannames en Modelling

No.	Model input
1.	Het klaslokaal is 7,0 m breed en 7,5 m lang en 3 m hoog (inclusief vloer- en plafondplenum).
2.	Het klaslokaal beschikt over 1 buitenmuur (Rc-waarde van 4,5 m ² K/W) met daarin een raam (5000 mm x 1800 mm, B x H; HR++ glas, U-waarde van 1.0 W/m ² K). Het raam is geplaatst 750 mm boven de verhoogde vloer.
3.	Het vloerplenum is 145 mm hoog. De verhoogde vloer bestaat uit vloertegels met afmetingen van 600 mm x 600 mm, met een dikte van 40 mm, een porositeit van 3,6% door een perforatie gaten met een doorsnede van 8 mm. De vloertegels van de achterwand tot de inlaat van de airsock-filters is volledig dicht uitgevoerd. Onder de toevoer van de luchtbehandelingskast is de vloer open.
4.	Het plafondplenum is 200 mm hoog. Net als de vloertegels, zijn de plafondplaten 600 mm x 600 mm groot met een porositeit van 3,6% door een perforatie gaten met een doorsnede van 8 mm. Boven het retourkanaal naar de luchtbehandelingskast is het plafond open.
5.	In het klaslokaal staan 30 tafels voor leerlingen (700 mm x 500 mm x 600 mm, L x B x H) en een bureau voor de leraar (1400 mm x 700 mm x 800 mm, L x B x H). Aan elke tafel staat een stoel met een dicht zitvlak en dichte rugleuning.
6.	In het lokaal zijn 30 leerlingen aanwezig. Elke leerling is een bron van warmte (83 W) afgegeven over het lichaamsoppervlakte. Daarnaast ademt elke leerling 0.5 m ³ /uur lucht uit met een relatieve luchtvochtigheid van 95%, een CO ₂ gehalte van 35.000 ppm, en een genormaliseerde concentratie aerosolen. Bij de beoordeling van het comfort wordt verondersteld dat de leerlingen zittend werken, 1,5 met, 86 W/m ² lichaamsoppervlak) en typische zomerkleding (clo 0.5), dan wel winterkleding (clo 1.0) dragen. De warmteafgifte is gebaseerd op kinderen met een gemiddeld gewicht van 32 kg, 50% meiden, 50 jongens (Persily & de Jonge, 2017)
7.	In het lokaal is een smartboard aanwezig (2000 mm x 1125 mm x 200 mm, B x H x D) met een warmteafgifte van 200 W

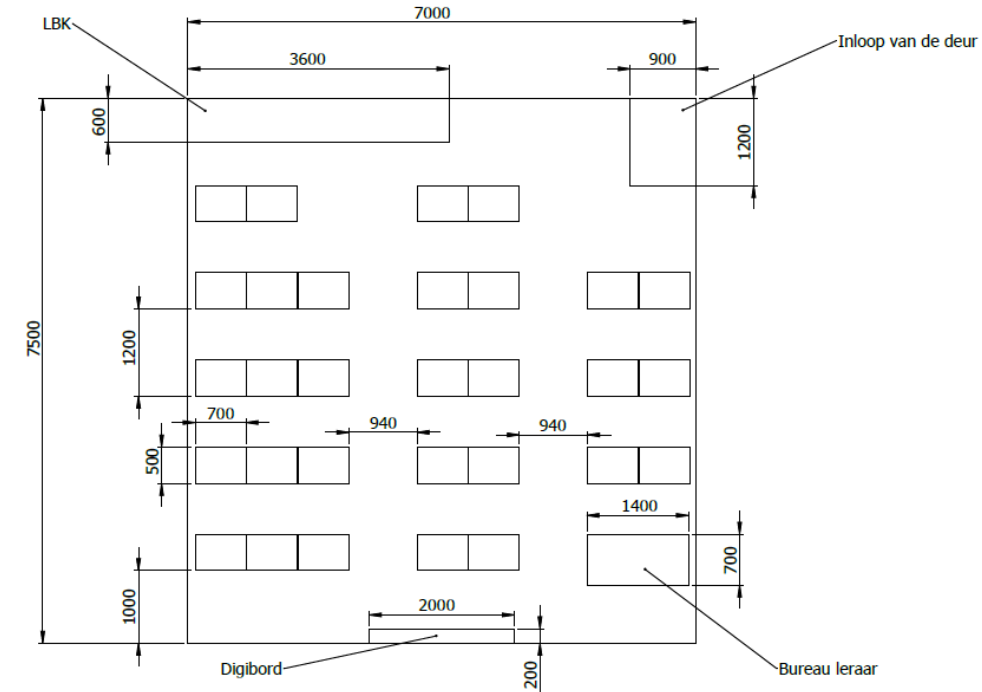


Figure - Plattegrond van het klaslokaal

Aannames en Modelling (2)

No.	Model input
8.	De Goflow kast is 3600 mm breed, 600 mm diep en 2400 mm hoog. De inrichting van de kast is gemodelleerd op basis van aangeleverde tekeningen. De kast beschikt over 2 warmtewisselaars (merk: Recair, type: RC160). Het drukverlies en de efficiëntie van de warmtewisselaars varieert met het debiet. In de kast zijn 2 blowers (merk: ebm-papst, type: K3G355-RS02-H2) aanwezig. Het debiet van de blowers en het bijhorende vermogen worden voor elk scenario vast ingesteld.
9.	<p>Onder de vloer zijn 3 radiatoren aanwezig (merk: Jaga, type: Strada Hybrid):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 radiatoren (2400 mm x 200 mm x 100 mm, L x D x H) met een capaciteit van 1996 / 1114 W (verwarming / koeling) en een maximale (water)volumestroom van 343 / 479 l/h (verwarming / koeling). • 1 radiator (2000 mm x 200 mm x 100 mm, L x D x H) met een capaciteit van 1636 / 914 W (verwarming / koeling) en een maximale (water)volumestroom van 281 / 393 l/h (verwarming / koeling) <p>De temperatuur van het toegevoerde water is 35°C in de winter en 16°C in de zomer. De daadwerkelijk afgegeven warmte / koude is gebaseerd op een thermostaat in de ruimte. De setpoint temperatuur is afhankelijk van het scenario. De thermostaat is in het model geplaatst op 1,5 m hoogte midden in een looppad tussen de tafels. Het drukverlies van de radiatoren wordt bepaald op basis van een model aanwezig in de CFD software op basis van het aantal ribben en de diameter van de buizen.</p>
10.	De airsock filters zijn gemodelleerd als 6,45 m lange hulzen met een doorsnede van 200 mm x 85 mm (B x H). Dit resulteert in een gelijke open doorsnede als de meer gestroomlijnde toevoerstukken in het werkelijke ontwerp. De filters liggen 600 mm uit elkaar en zijn gemodelleerd als 1% open.
11.	De buitenlucht wordt door een G4 filter geleid met een drukverlies van 15 Pa bij een debiet van 1000 m ³ /h. De retourlucht wordt door een F9 filter geleid met een drukverlies van 25 Pa bij een debiet van 1000 m ³ /h.

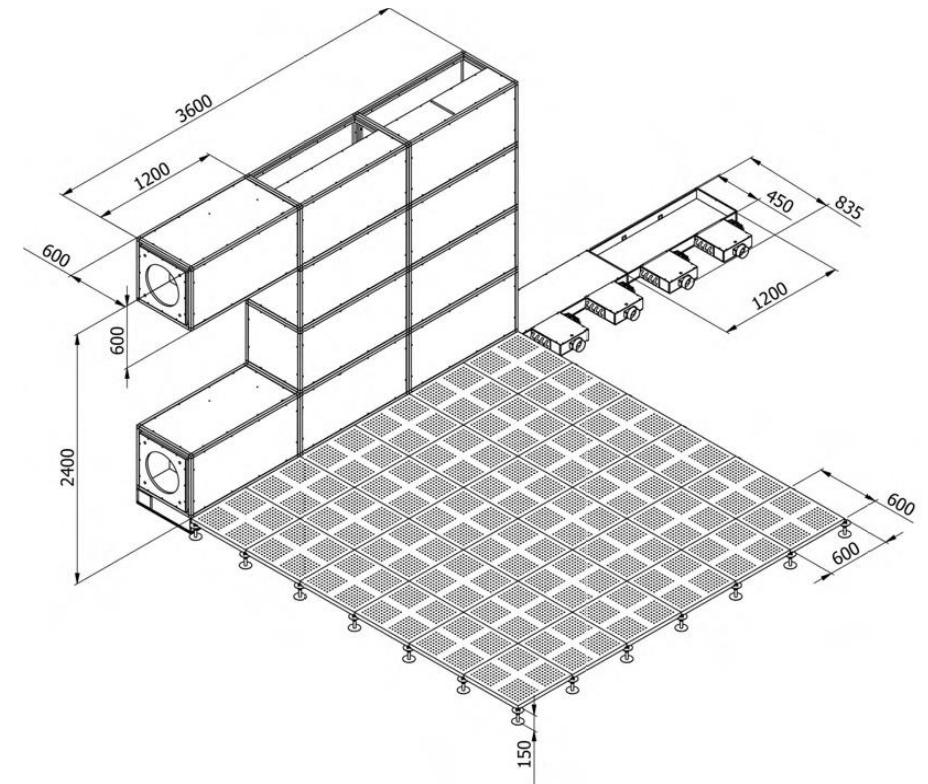


Figure – Tekening van Goflow systeem (bron: Goflow Technologies)

Ontwerpvarianten en Scenarios

De volgende ontwerpvarianten en scenario's worden onderzocht. Buitentemperaturen zijn gekozen als een relatief koude en warme schooldagen. Het setpoint voor binnentemperatuur past bij de fysieke inspanning en kleding van de kinderen volgens NEN 7730. Het debiet is gebaseerd op categorie A van het programma frisse scholen.

Onwerpvariant	Scenario	Temperatuur buiten, °C	Temperatuur binnen (setpoint*), °C	Ventilatiedebiet, m ³ /h
1. Goflow	Winter	0	18	1098
2. Goflow	Zomer	28	22	1098
3. Goflow – omgekeerd	Winter	0	18	1098
4. Mengventilatie	Winter	0	18	1098
5. Mengventilatie	Zomer	28	22	1098

*De thermostaat is in het model geplaatst op zithoogte midden in een looppad tussen de tafels. In de praktijk zal de thermostaat aan de muur op ca. 1,5 m hoogte worden geplaatst. Wanneer de temperatuur anders is, zal het setpoint moeten worden aangepast.

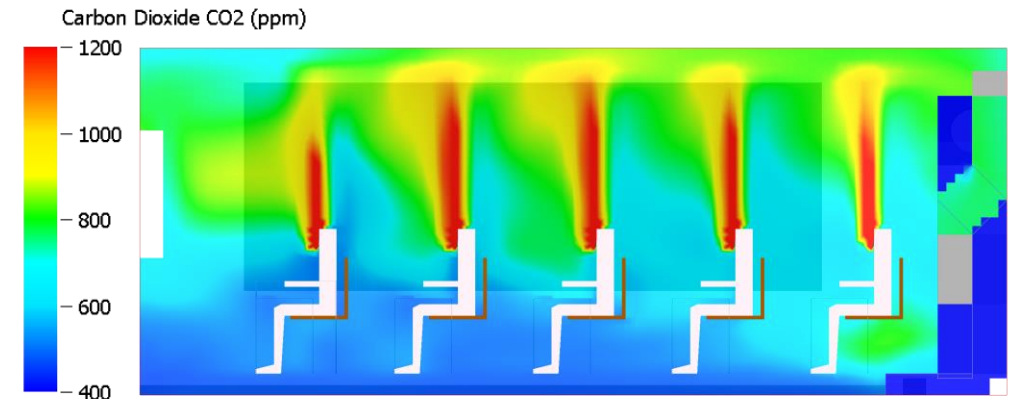
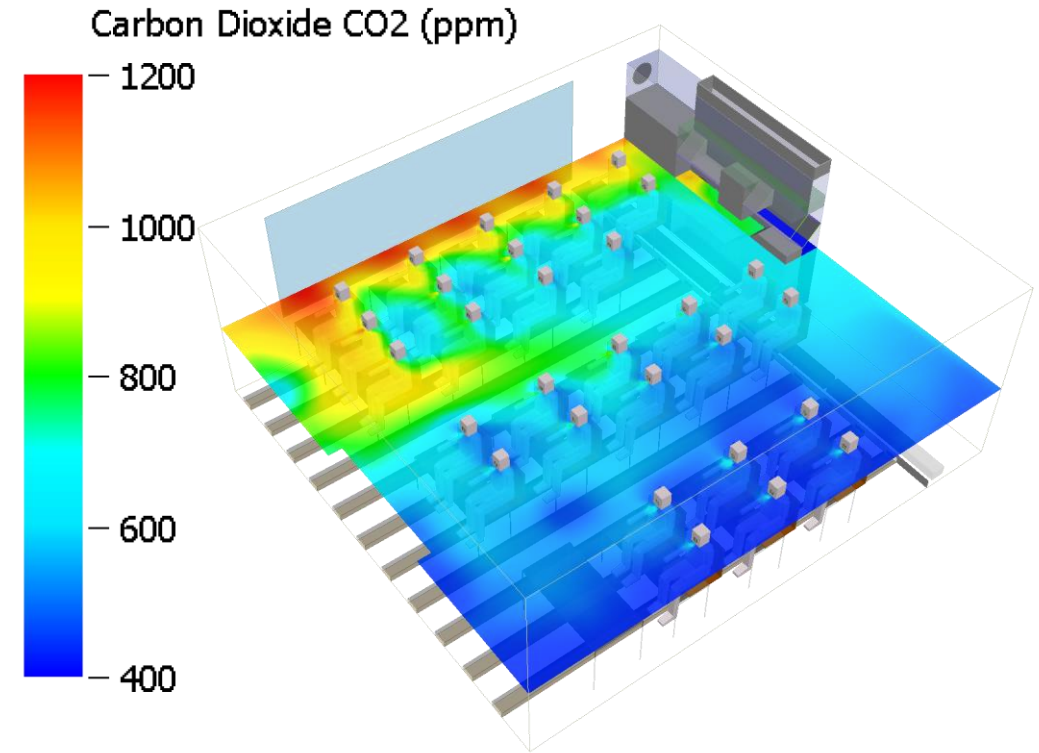
Analyse – Goflow (basisontwerp)
Winter - 0 °C

Parameter	Waarde
Luchtkwaliteit op ademhoogte	
Gemiddelde CO ₂ concentratie	500 – 1100 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	2 – 20 ppm
Comfort	
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<6% (cat. A)
Draught rating (tocht)	0% (cat. A)*
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	<3 K (cat. B)
Vloertemperatuur	17,6 °C (cat. C)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Warm plafond, <5 K (cat. A)
Energiegebruik	
Drukverschil blower	52 / 72 Pa
Warmteterugwinning	4,2 kW
Afgegeven vermogen radiatoren	2.0 kW

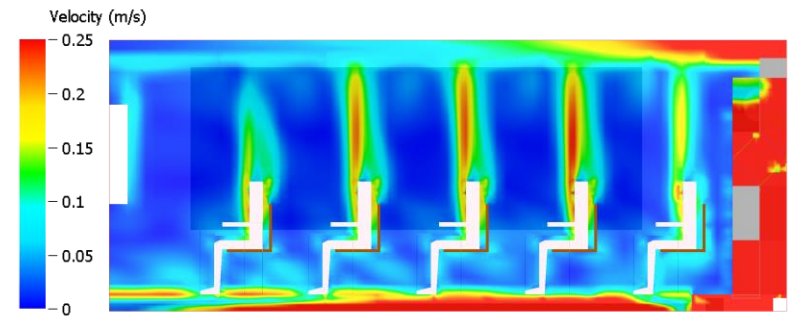
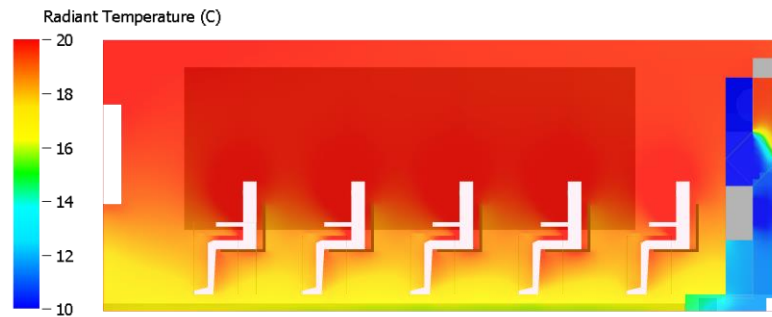
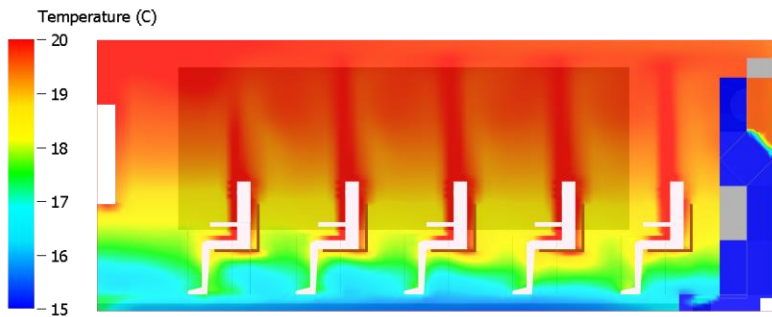
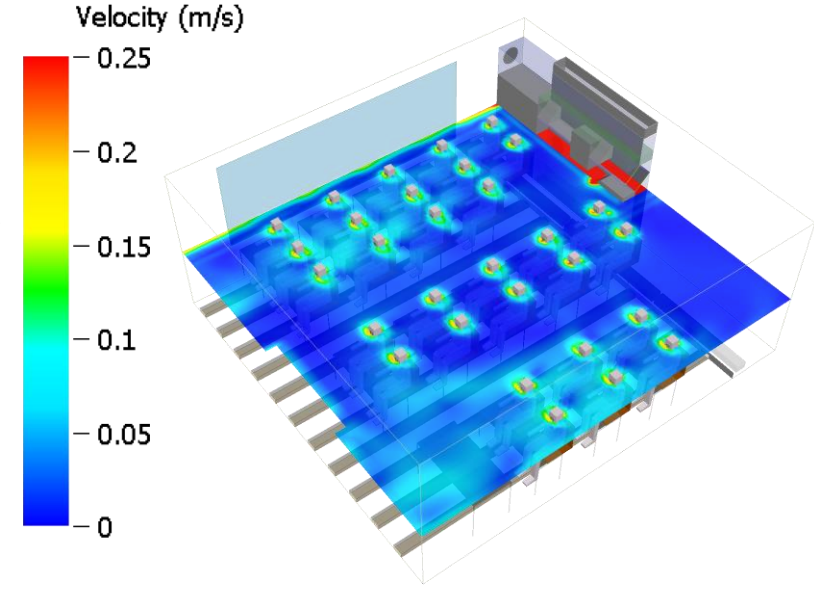
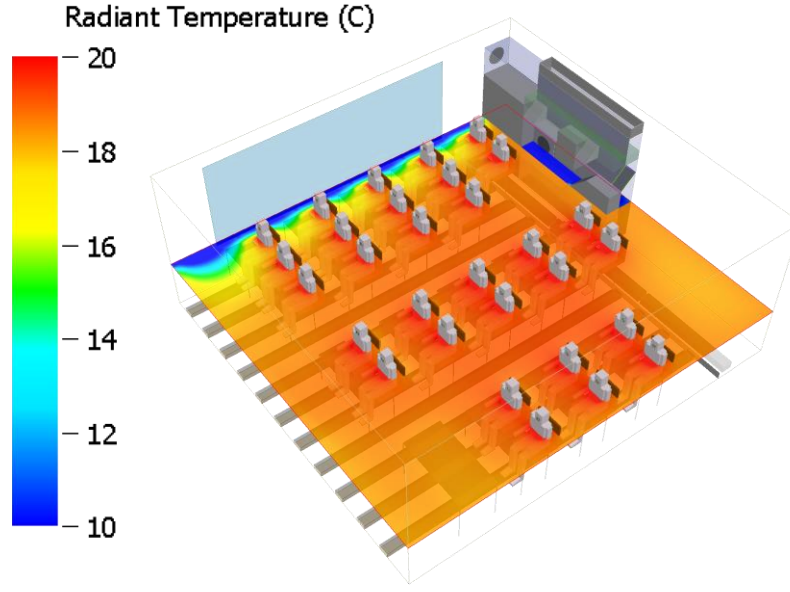
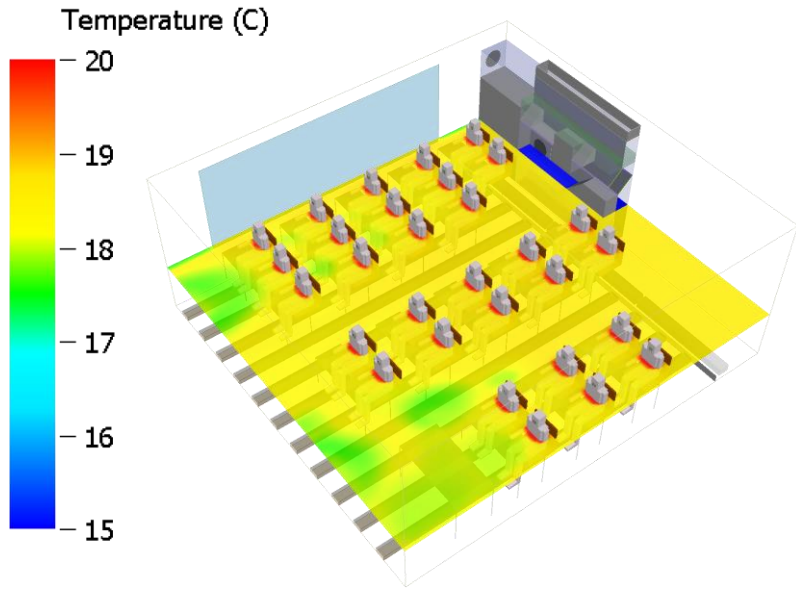
*Aangenomen dat stroom langs persoon door eigen warmte niet als tocht ervaren wordt

Observaties

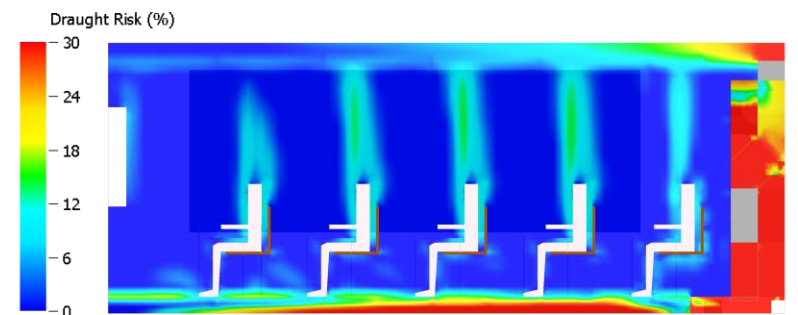
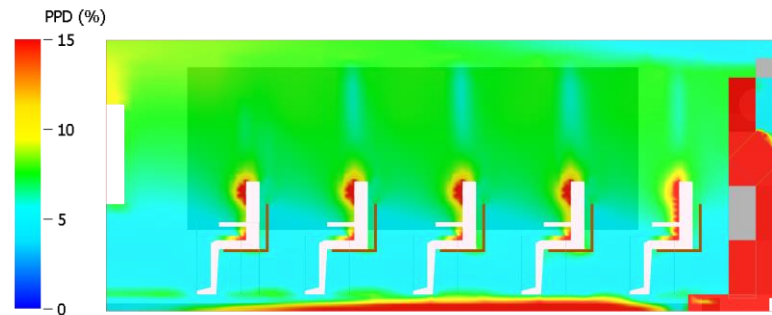
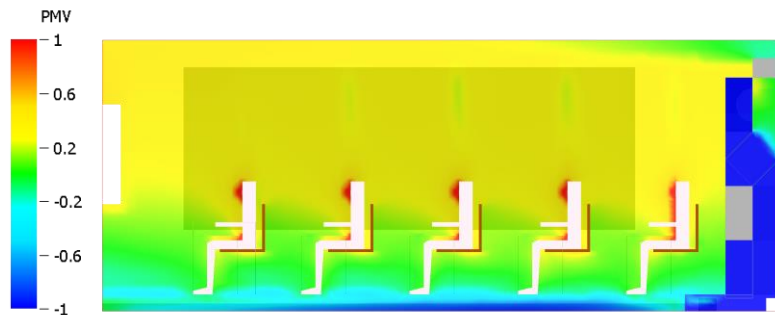
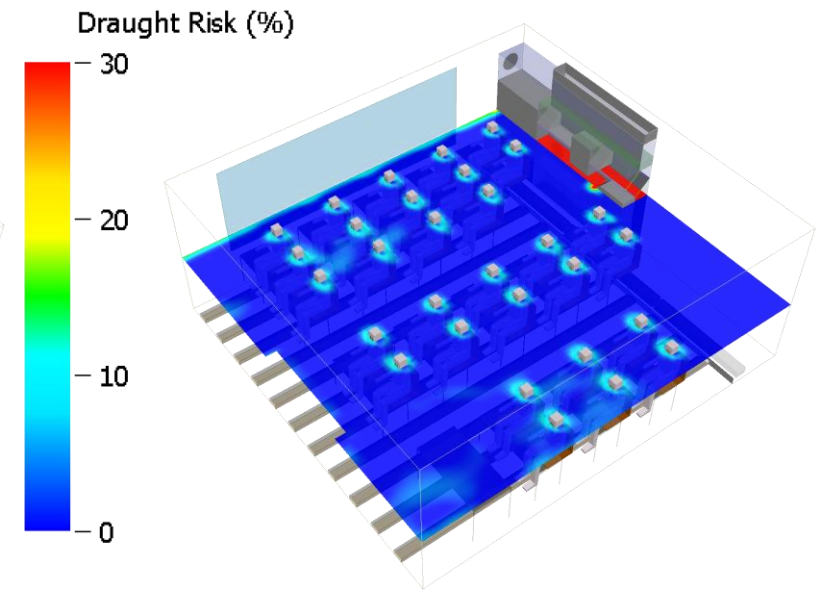
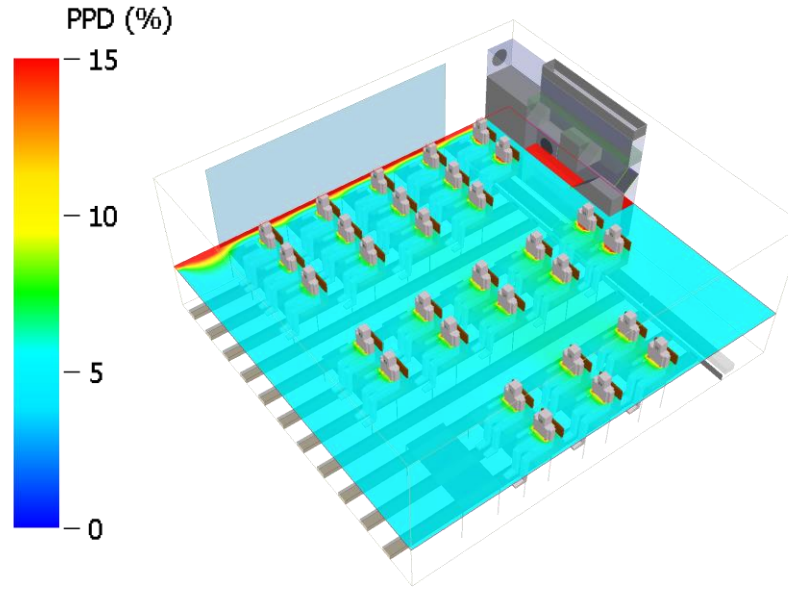
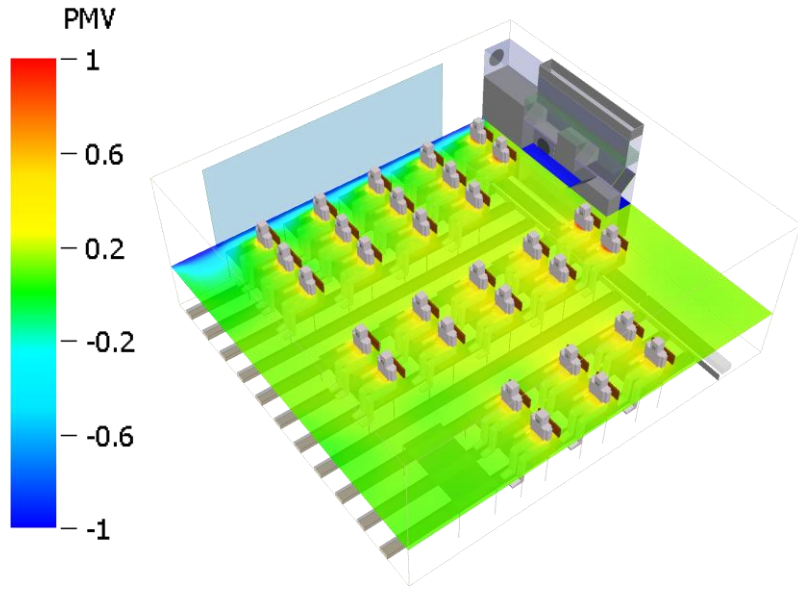
- Hogere concentratie CO₂ bij raam door koudeval
- Koude vloer kan tot lokaal discomfort zorgen.



Analyse – Goflow (basisontwerp)
Winter - 0 °C



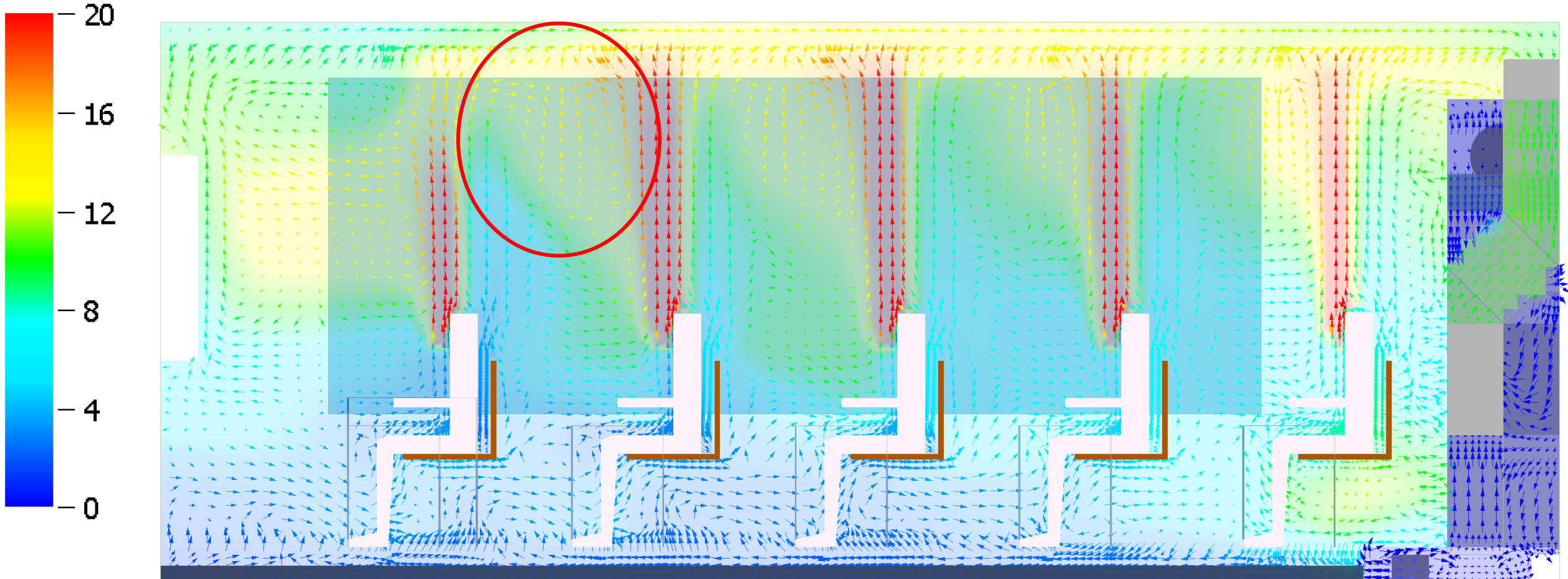
Analyse – Goflow (basisontwerp)
Winter - 0 °C

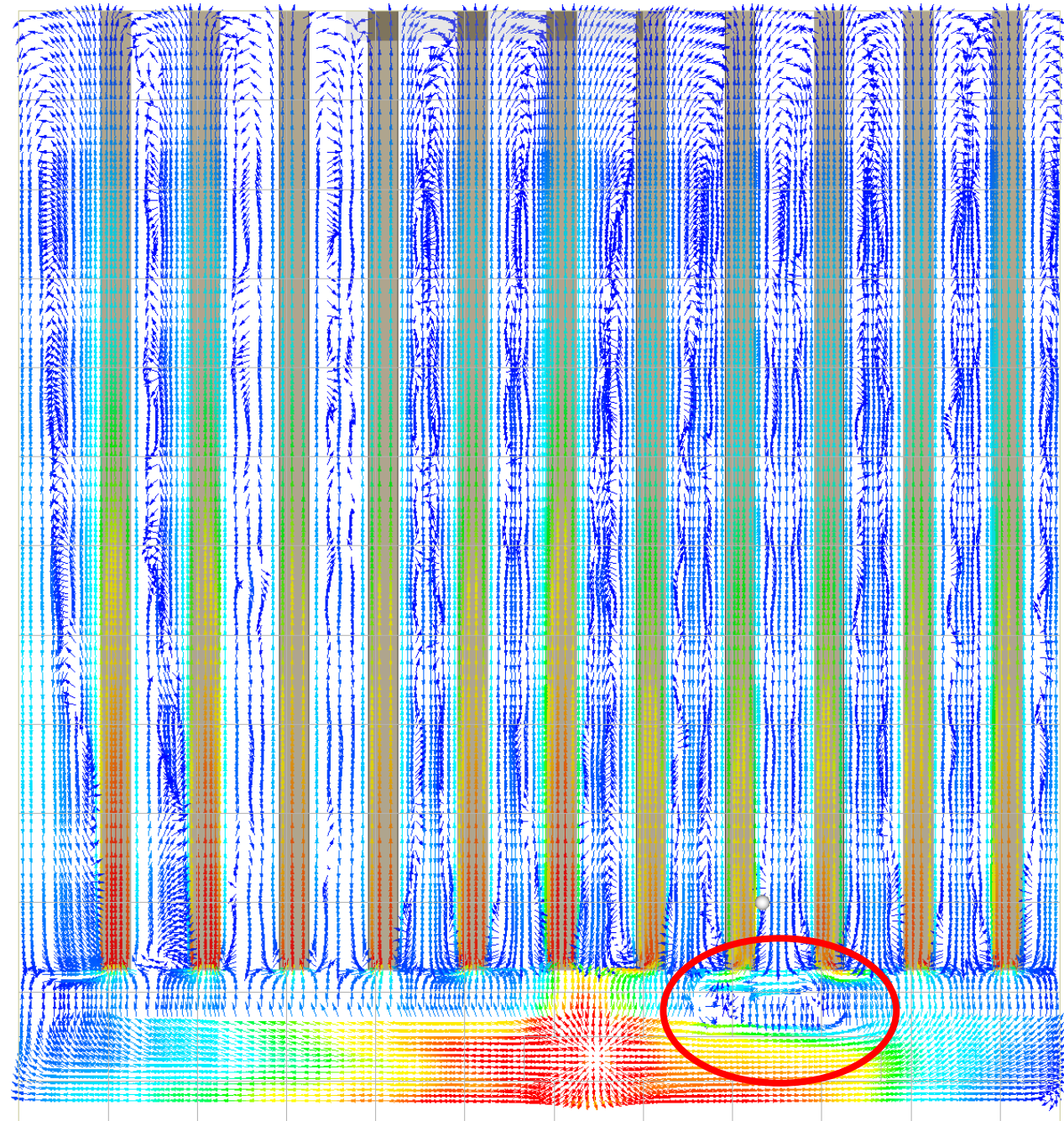
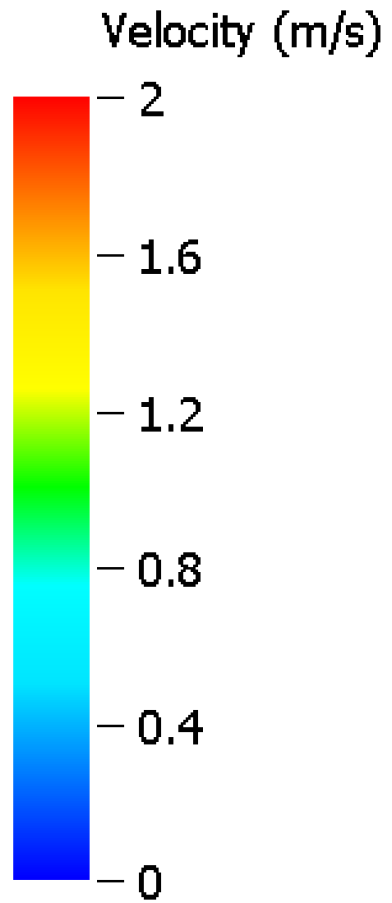


Aerosol (ppm)

Observaties

- Wervelingen tussen personen waarin aerosolen kunnen recirculeren



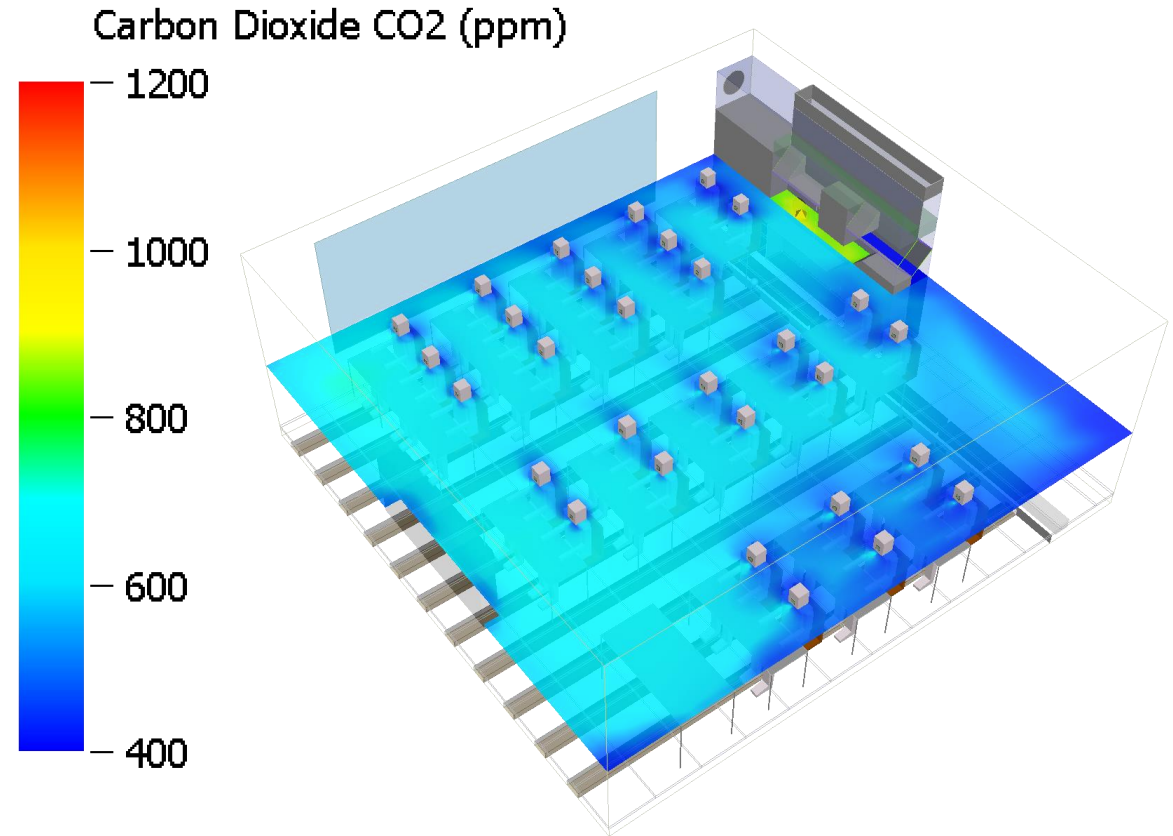


Nog te verklaren

Analyse – Goflow (basisontwerp)

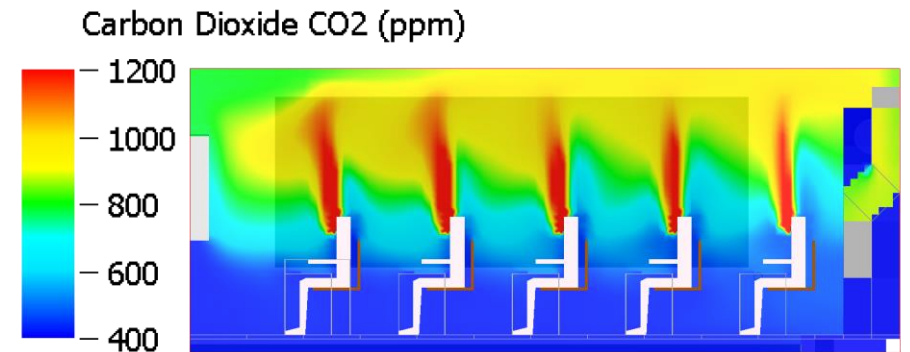
Zomer - 28 °C

Parameter	Waarde
Luchtkwaliteit op ademhoogte	
Gemiddelde CO ₂ concentratie	550 - 700 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	4 - 8 ppm
Comfort	
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<10% (cat. B) Te warm
Draught rating (tocht)	0% (cat. A)
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	4K (cat. C)
Vloertemperatuur	20 °C (cat. A)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Warm plafond, <5 K (cat. A)
Energiegebruik	
Drukverschil blower	52 / 72 Pa
Warmteterugwinning	- 0,6 kW
Afgegeven vermogen radiatoren	-5,0 kW (50% door condensatie!) Maximaal vermogen

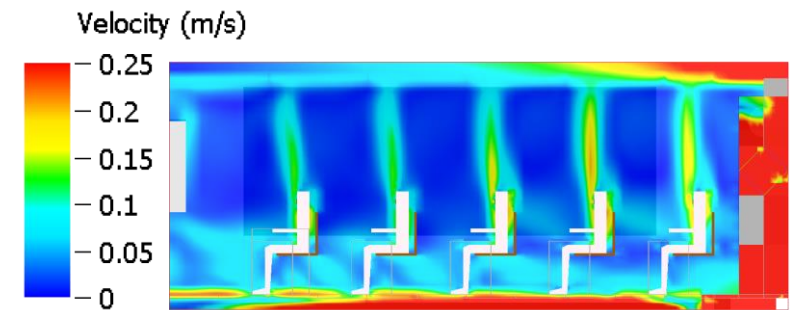
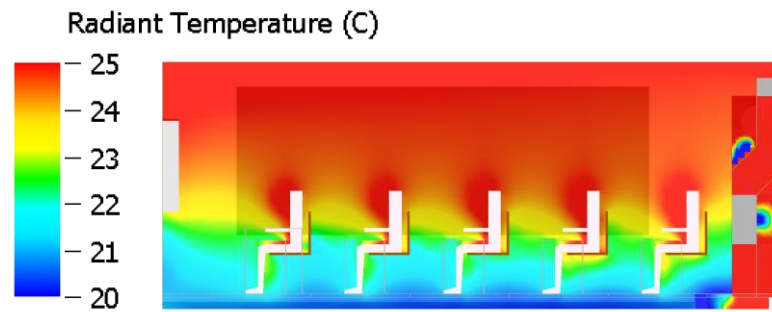
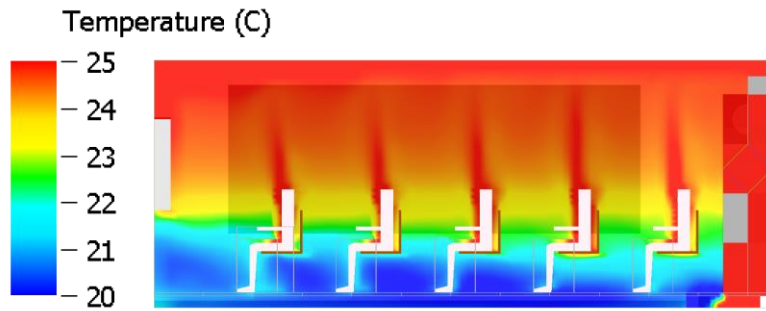
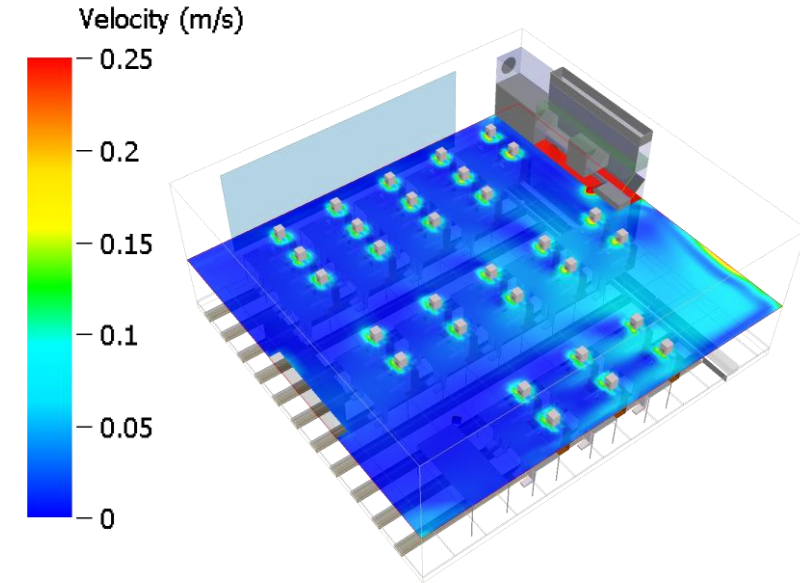
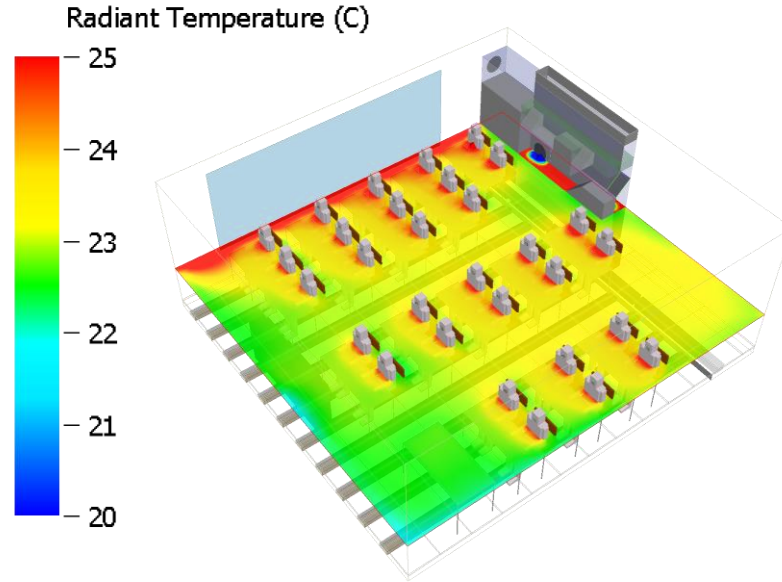
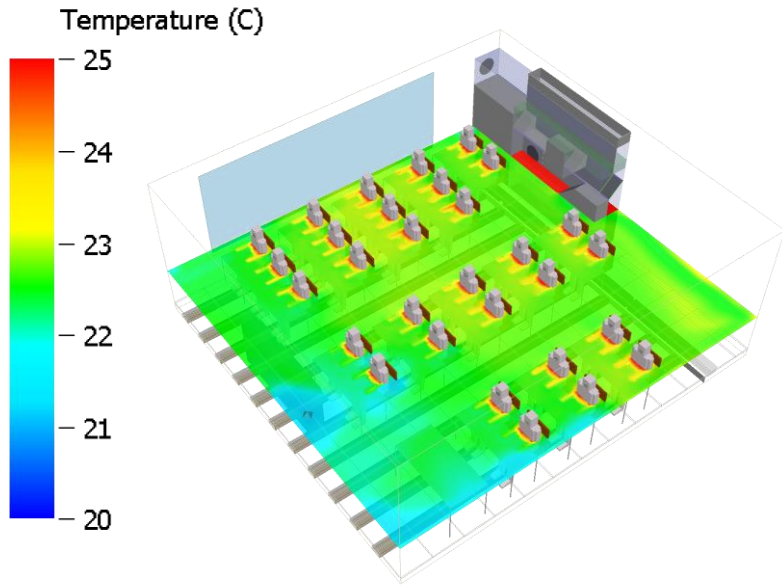


Observaties

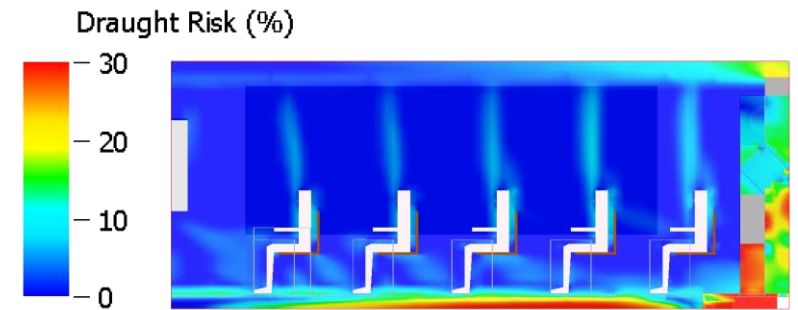
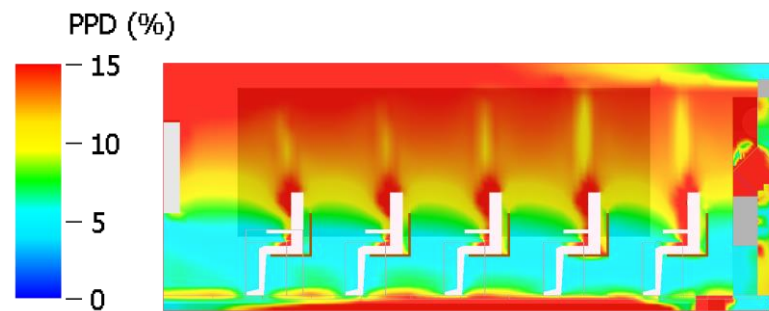
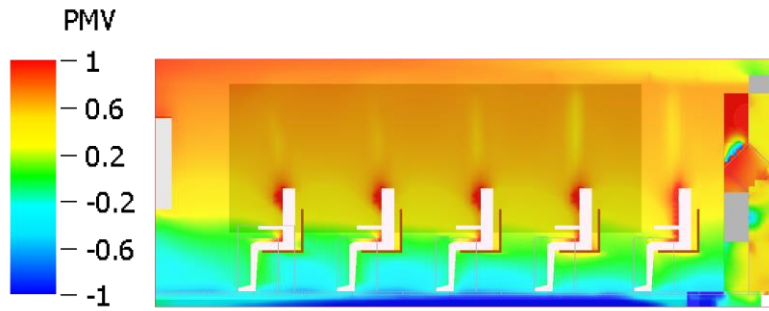
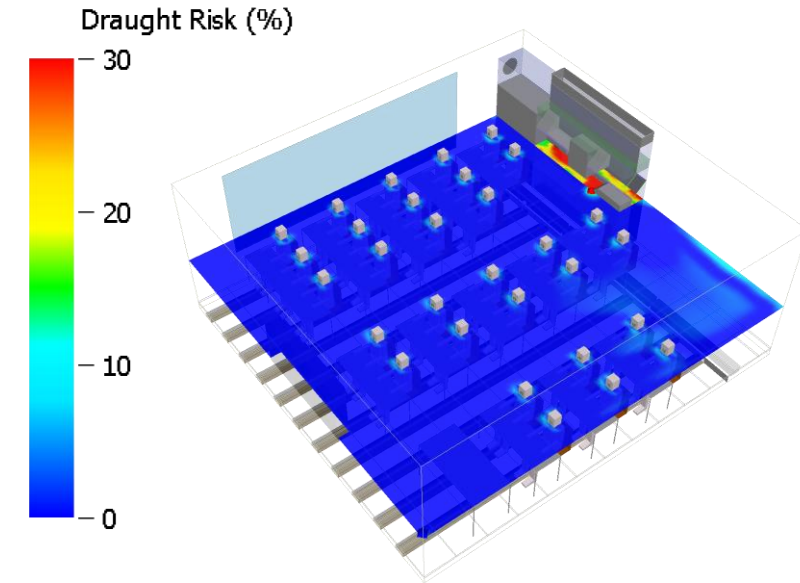
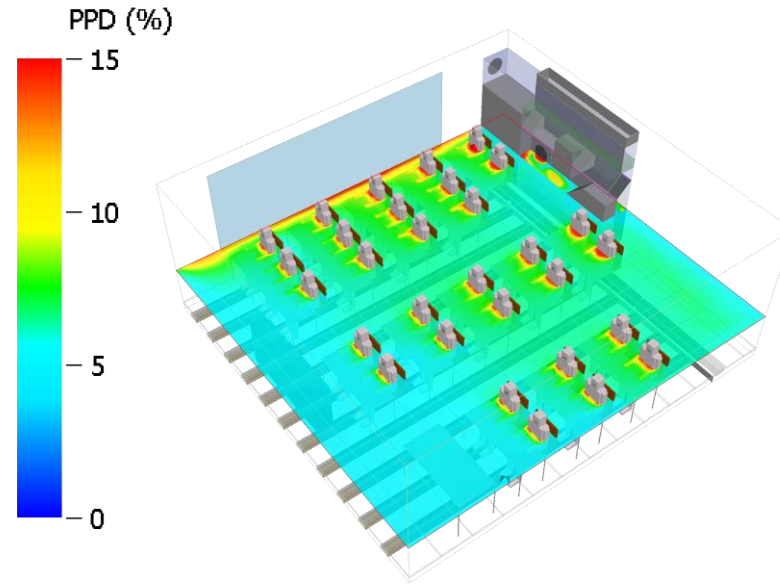
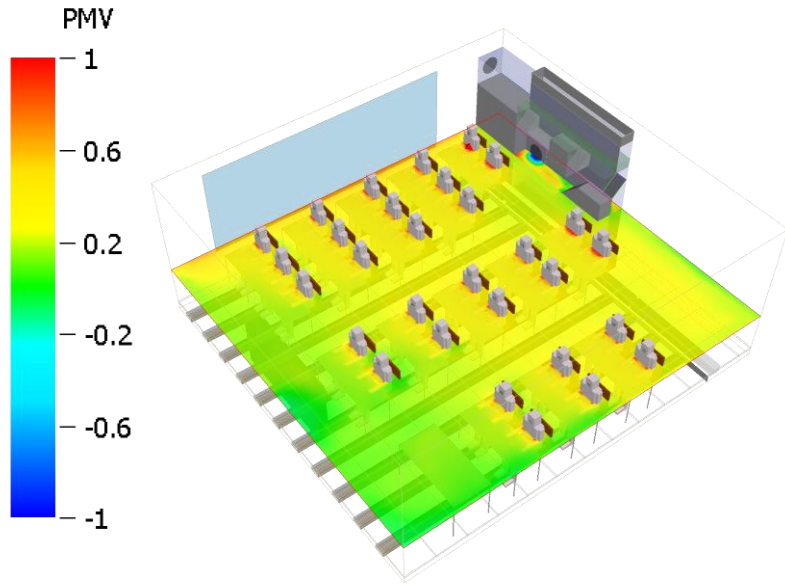
- Minder luchtverversing voorin de klas
- >40% van de leerlingen heeft het te warm: de thermostaat moet omlaag of de klas minder druk
- Verticale temperatuurgradiënt kan leiden tot lokaal discomfort.
- Condensatie op radiatoren



Analyse – Goflow (basisontwerp)
Zomer - 28 °C



Analyse – Goflow (basisontwerp)
Zomer - 28 °C



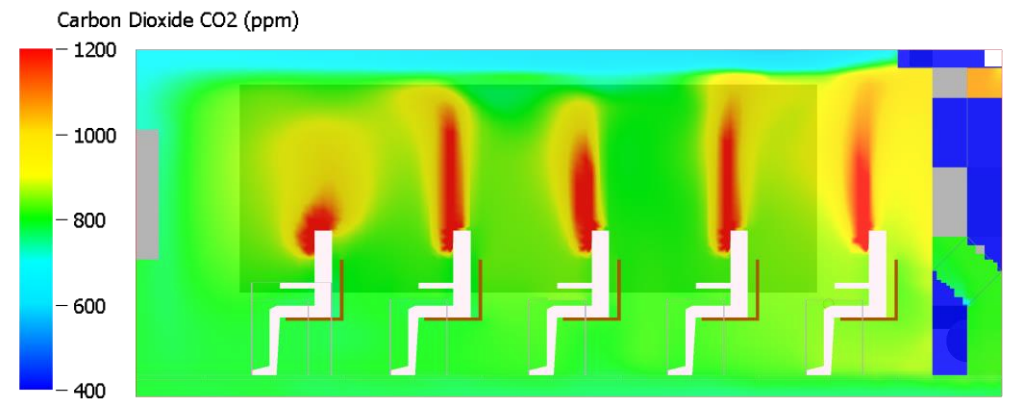
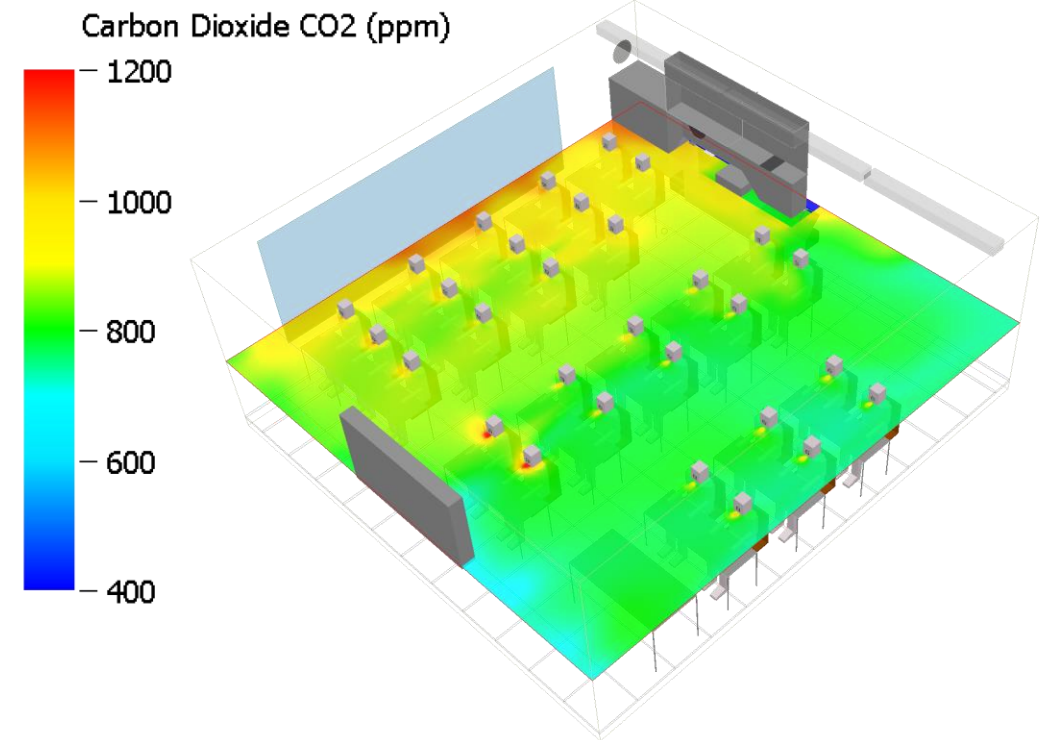
Analyse – Goflow (omgekeerd)

Winter - 0 °C

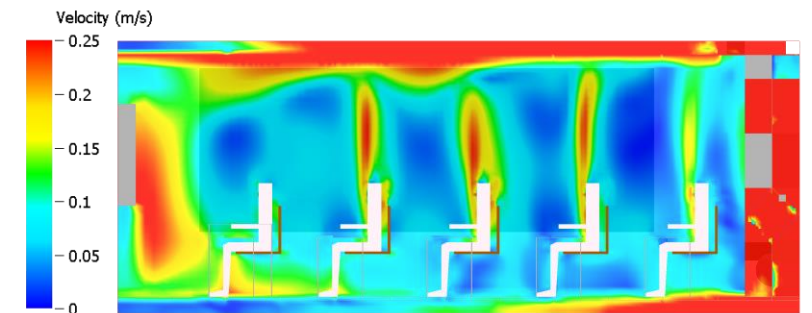
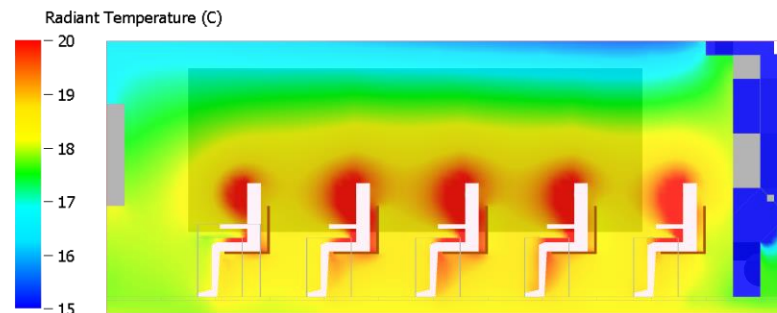
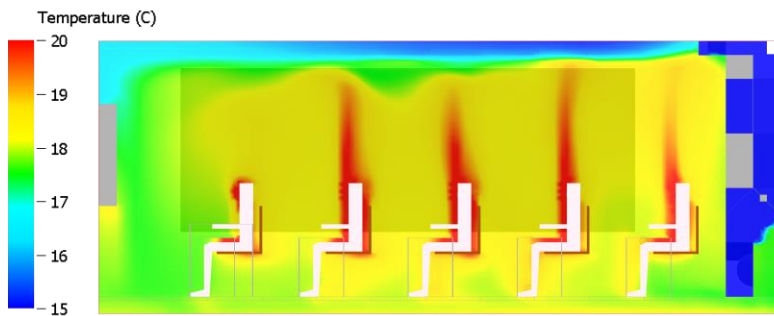
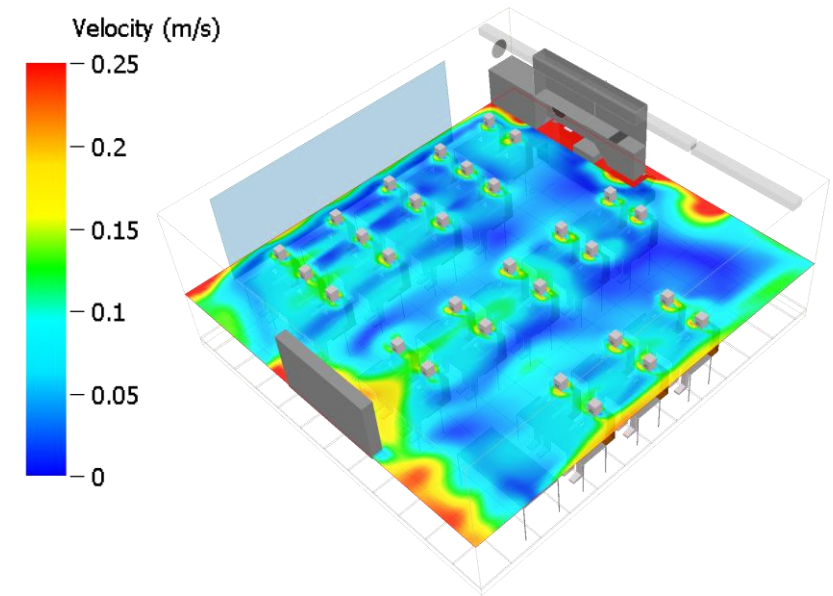
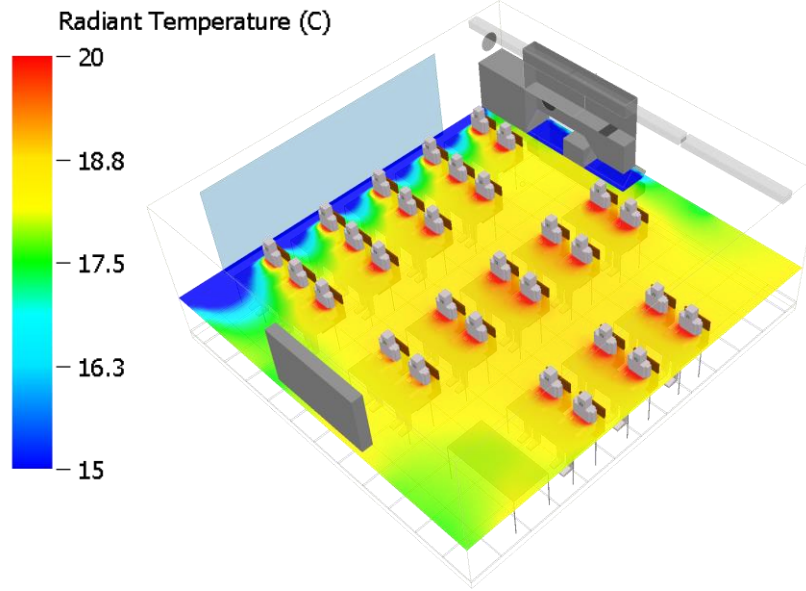
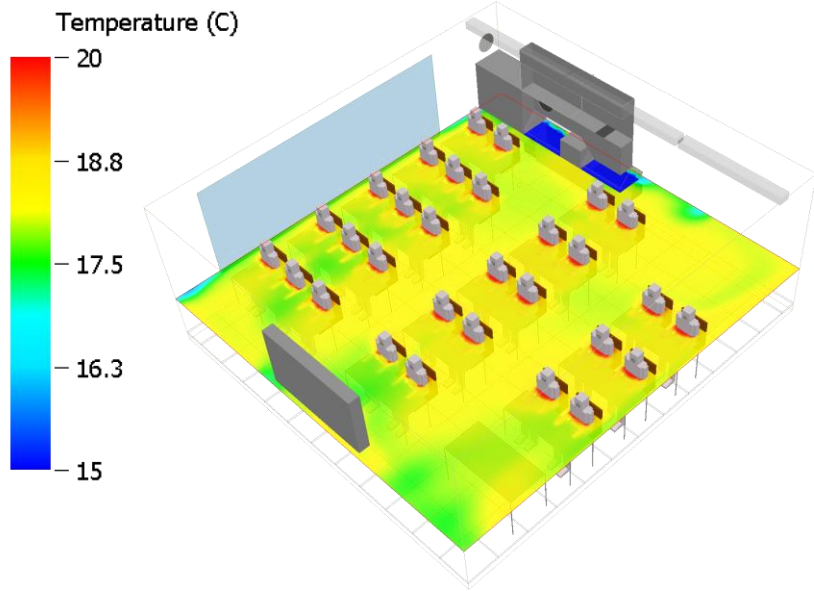
Parameter	Waarde
Luchtkwaliteit op ademhoogte	
Gemiddelde CO ₂ concentratie	800 – 1050 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	10 – 18 ppm
Comfort	
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<6% (cat. A)
Draught rating (tocht)	<10% (cat. A)
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	<2 K (cat. A)
Vloertemperatuur	17,7 °C (cat. C)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Koud plafond, <14 K (cat. A)
Energiegebruik	
Drukverschil blower	57 Pa
Warmteterugwinning	3,9 kW
Afgegeven vermogen radiatoren	1.3 kW

Observaties

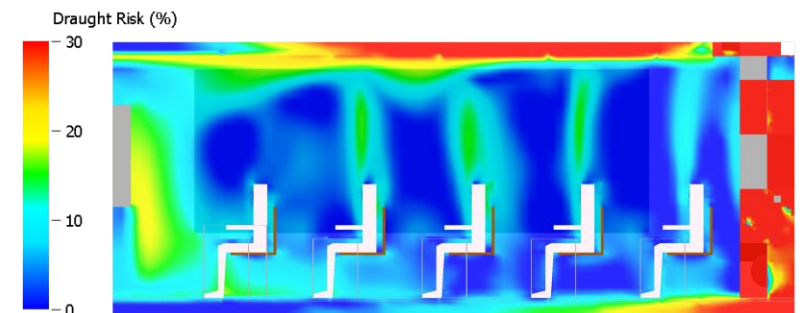
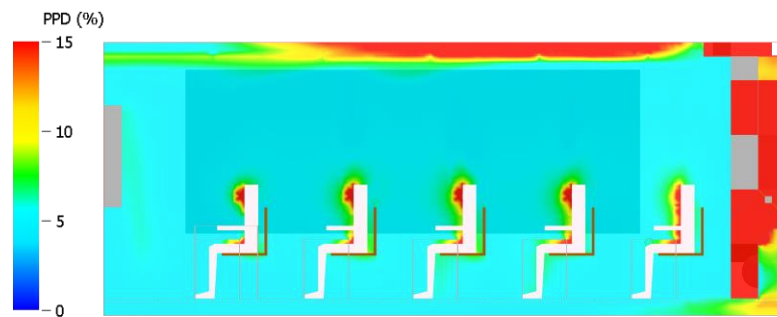
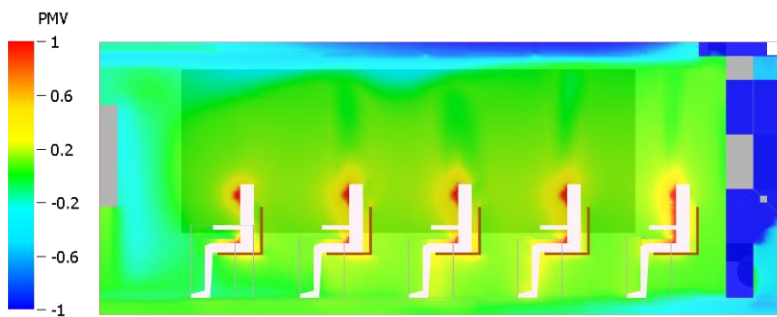
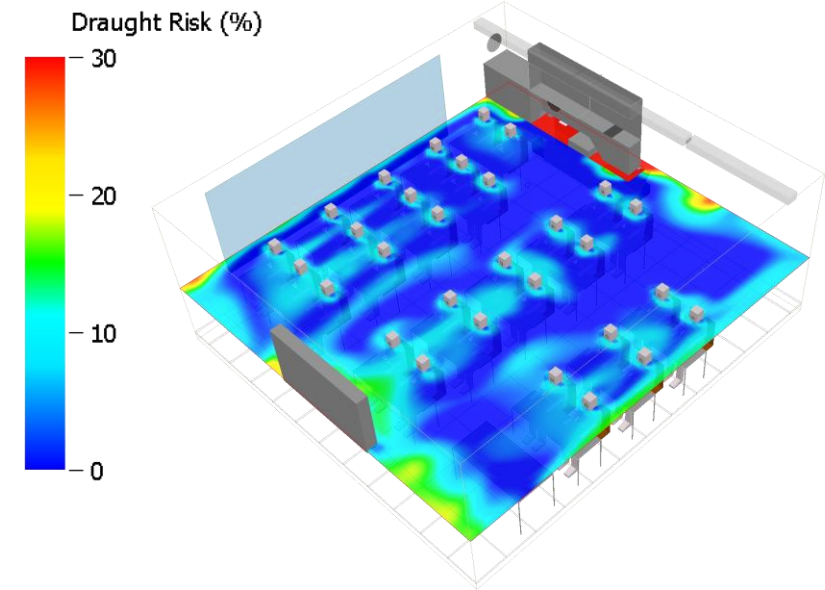
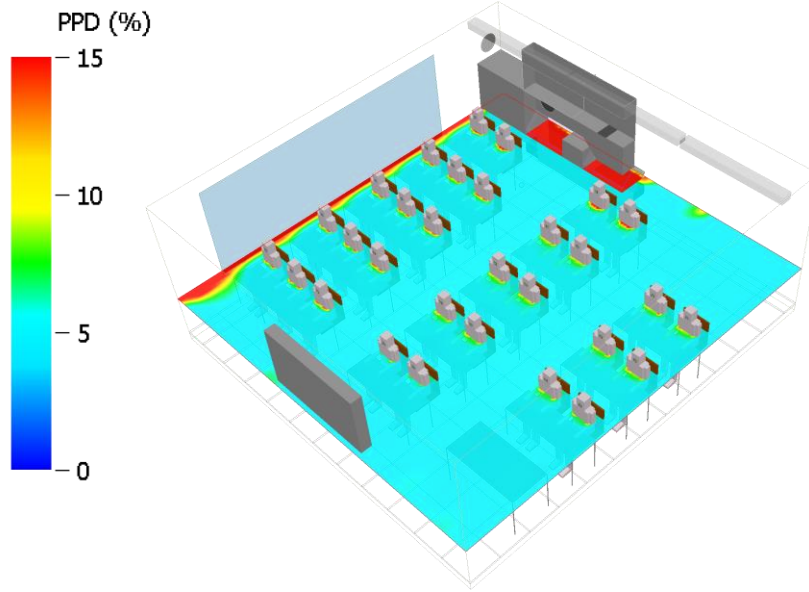
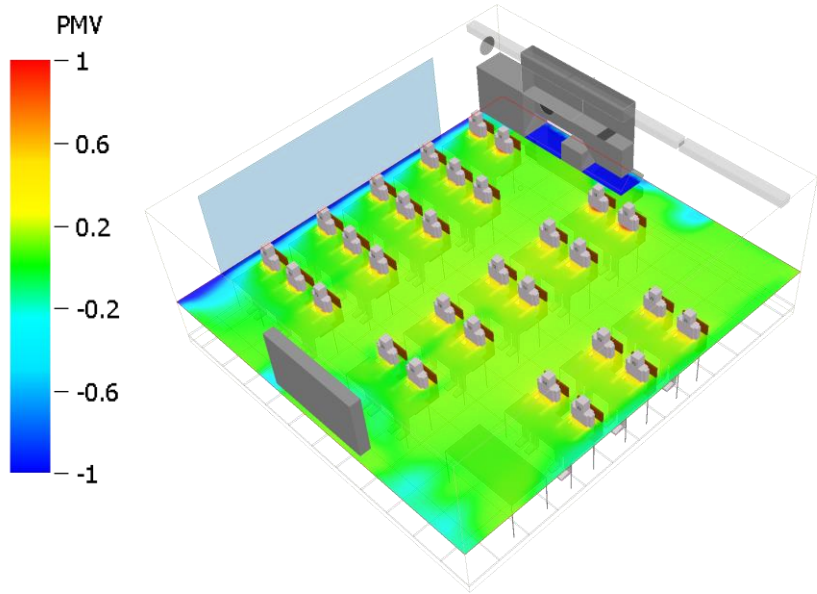
- Hogere concentratie CO₂ bij raam



Analyse – Goflow (omgekeerd)
Winter - 0 °C



Analyse – Goflow (omgekeerd)
Winter - 0 °C



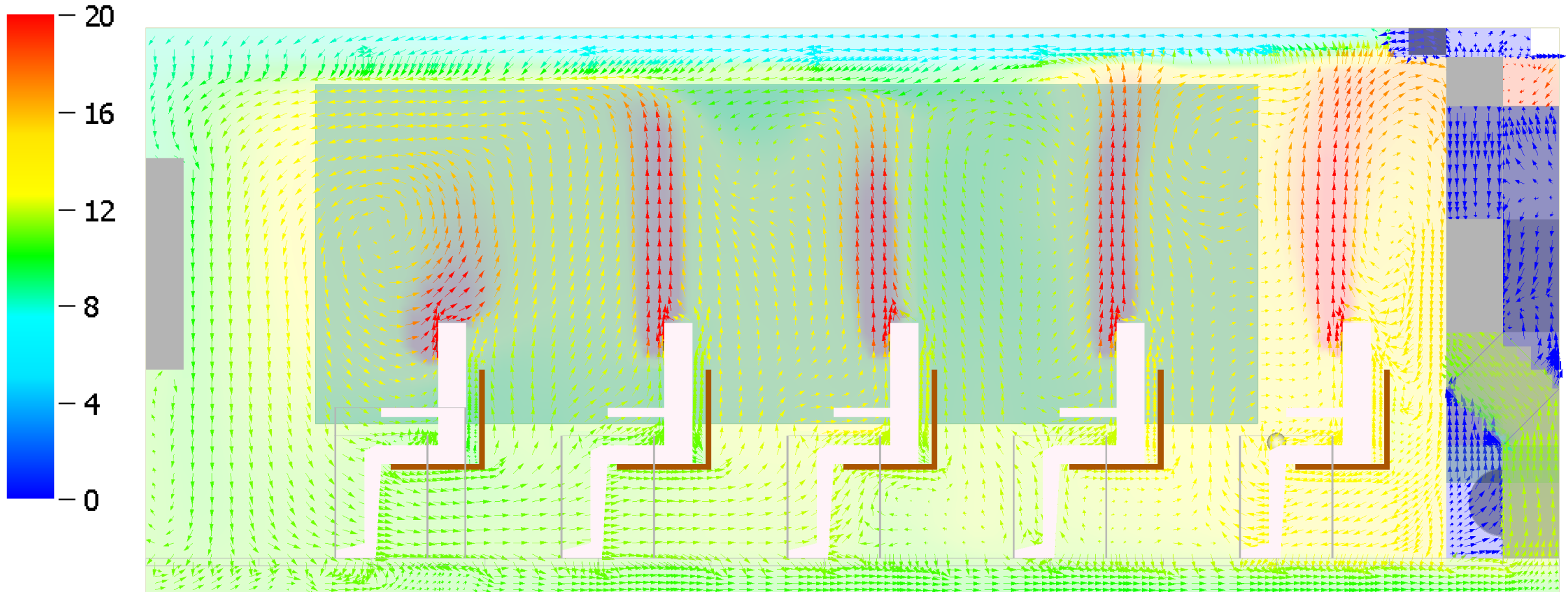
Analyse – Goflow (omgekeerd)

Winter - 0 °C

Observaties

- Adem personen stijgt op om vervolgens te mengen met de toegevoerde lucht en via de vloer te worden afgevoerd.

Aerosol (ppm)



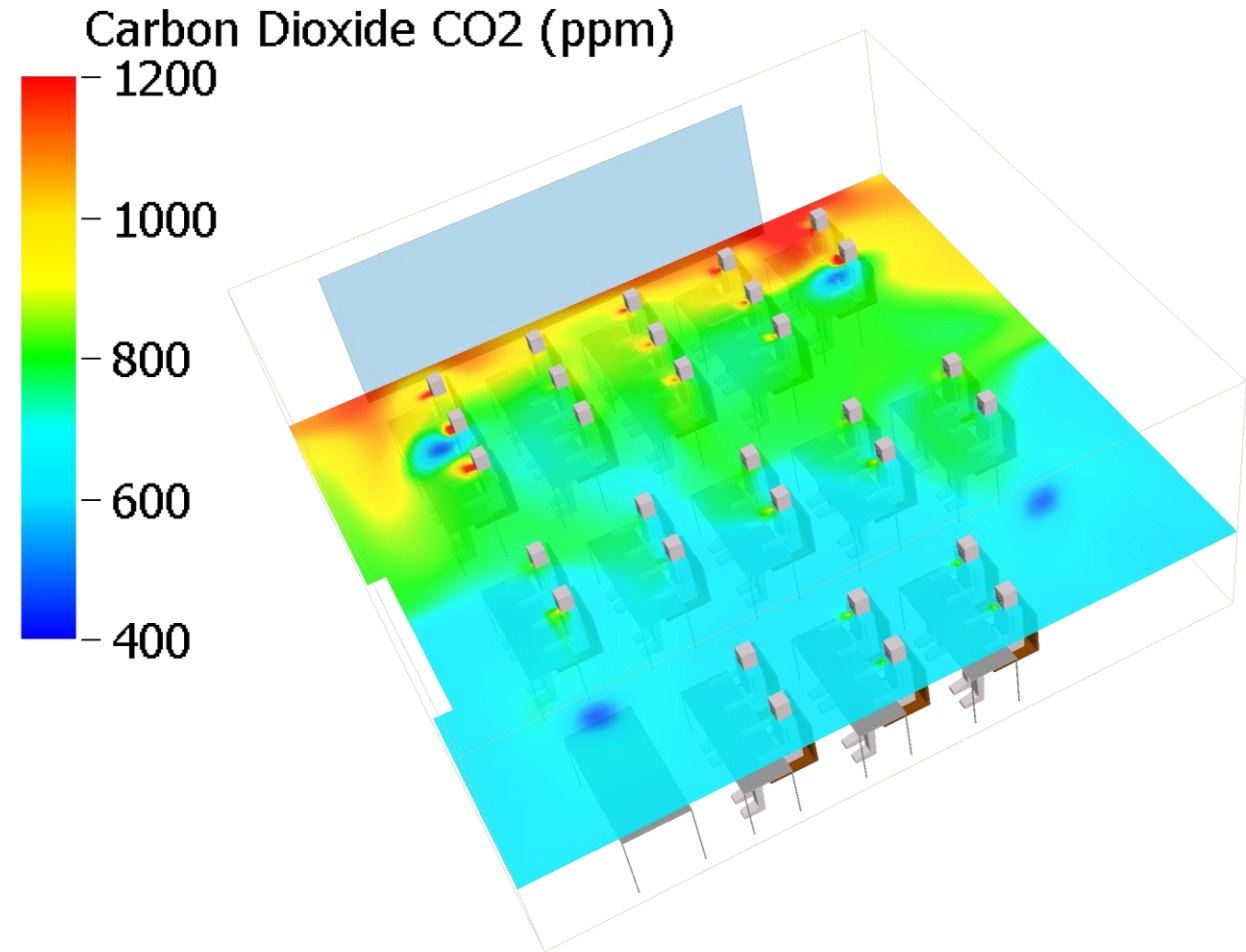
Analyse – Mengventilatie

Winter - 0 °C

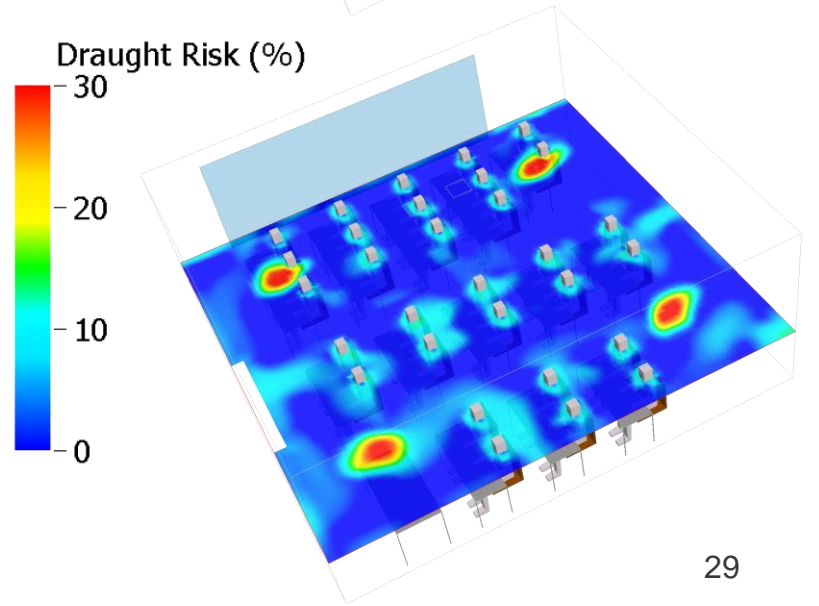
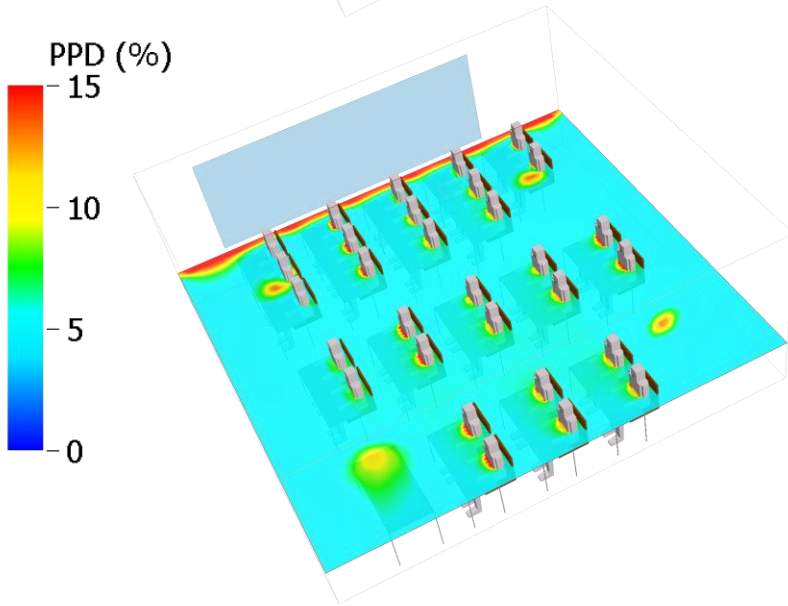
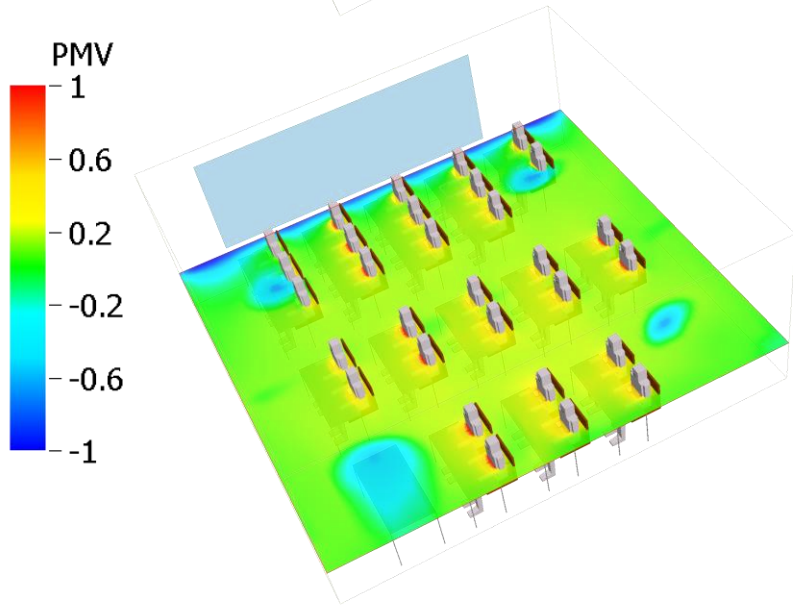
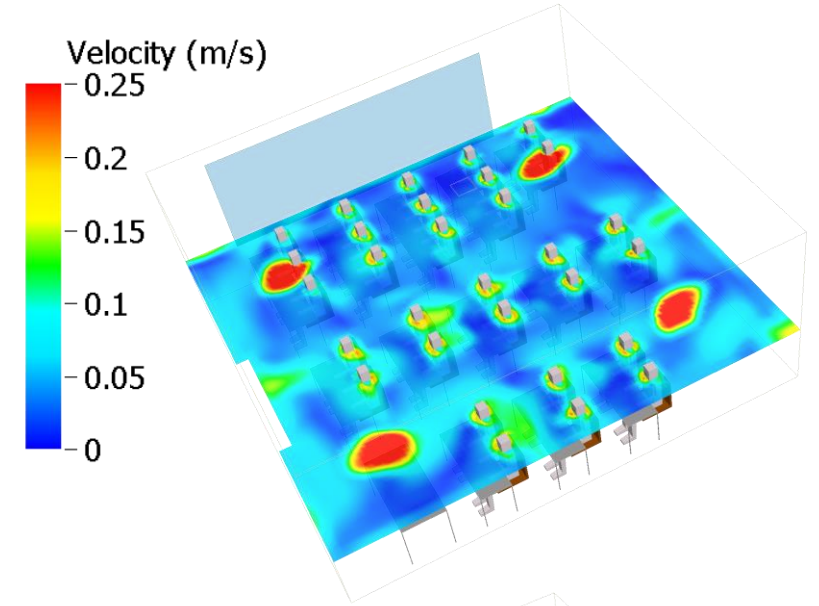
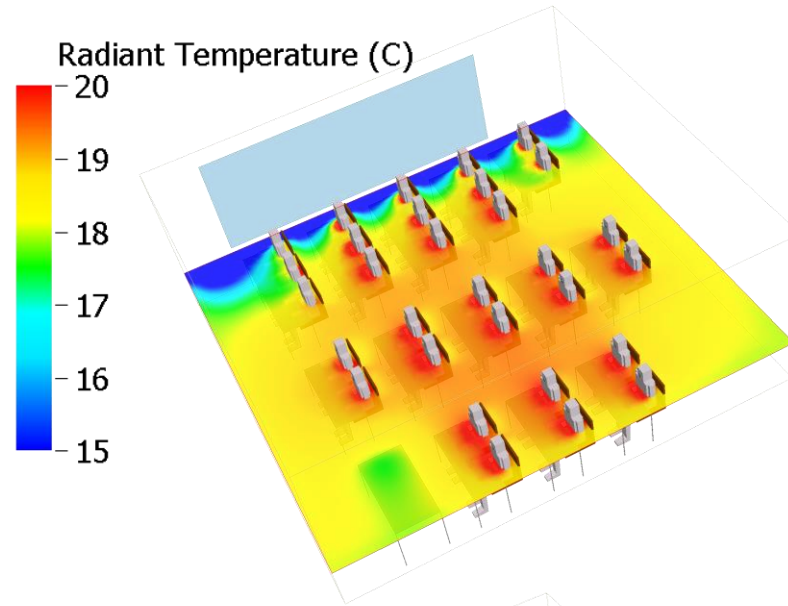
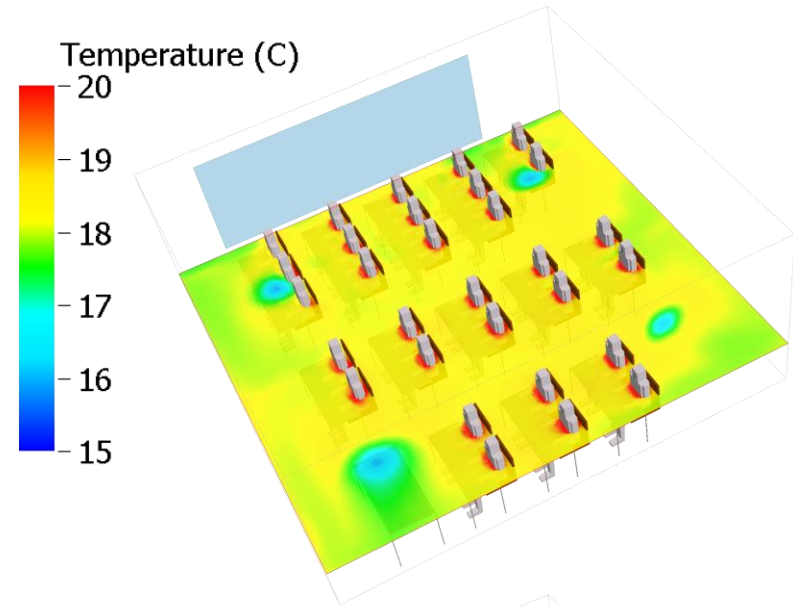
Parameter	Waarde
Luchtkwaliteit op ademhoogte	
Gemiddelde CO ₂ concentratie	650 – 1200 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	7 – 22 ppm
Comfort	
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<6% (cat. A)
Draught rating (tocht)	<10% (cat. A) >30 onder toevoerrooster
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	<2 K (cat. A)
Vloertemperatuur	17,5 °C (cat. C)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Cat. A

Observaties

- Hogere concentratie CO₂ bij raam
- Ongunste condities onder inblaasroosters



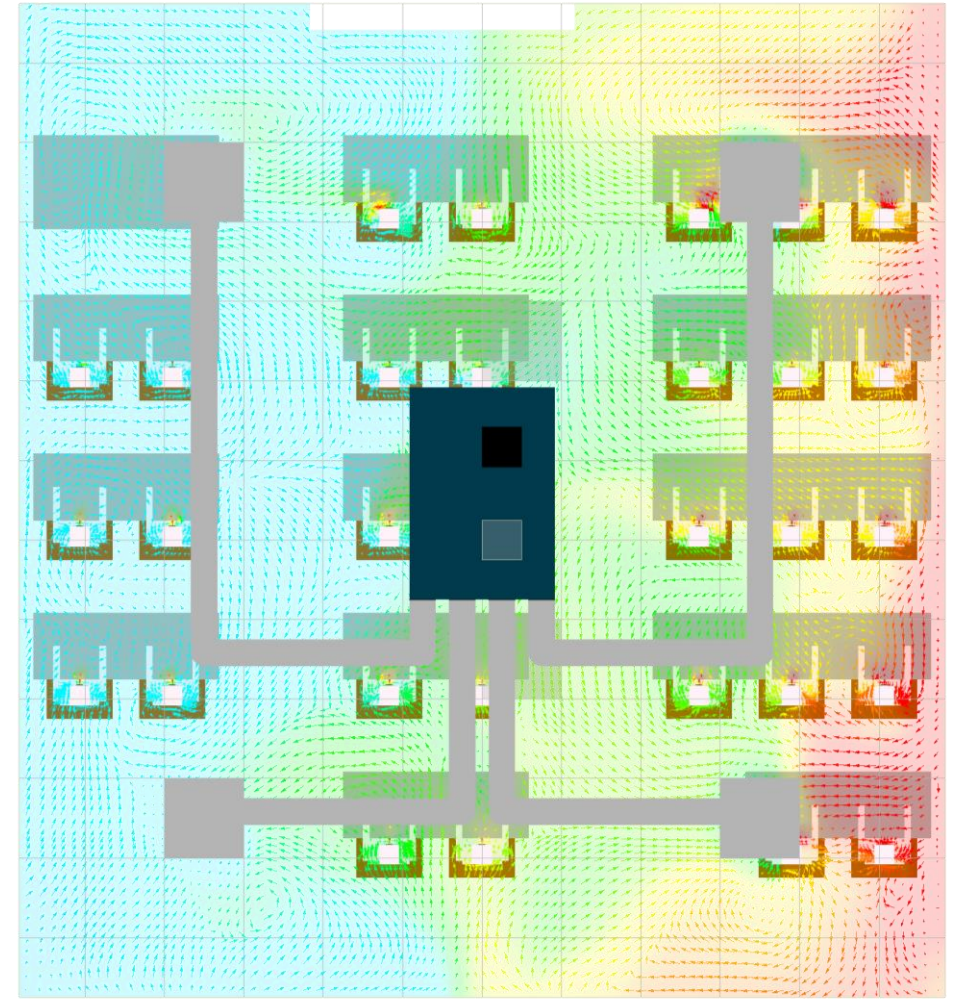
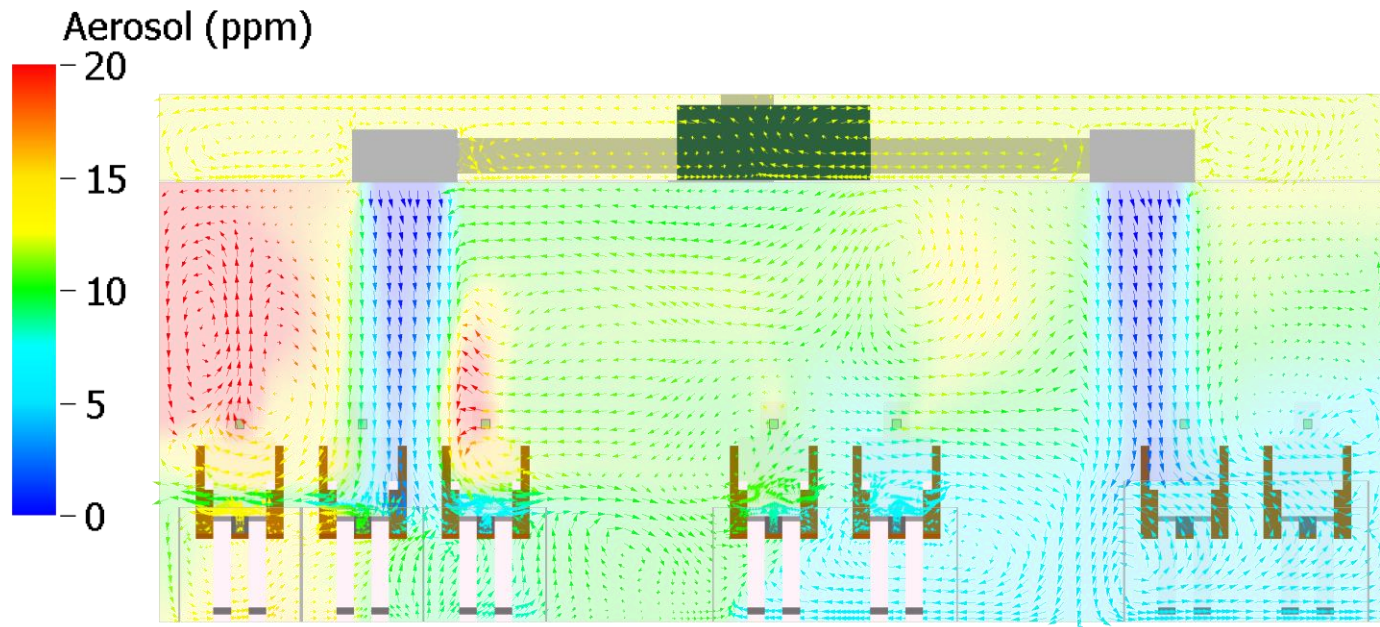
Analyse – Mengventilatie
Winter - 0 °C



Analyse – Mengventilatie
Winter - 0 °C

Observaties

- Chaotisch patroon met recirculatie bij het raam



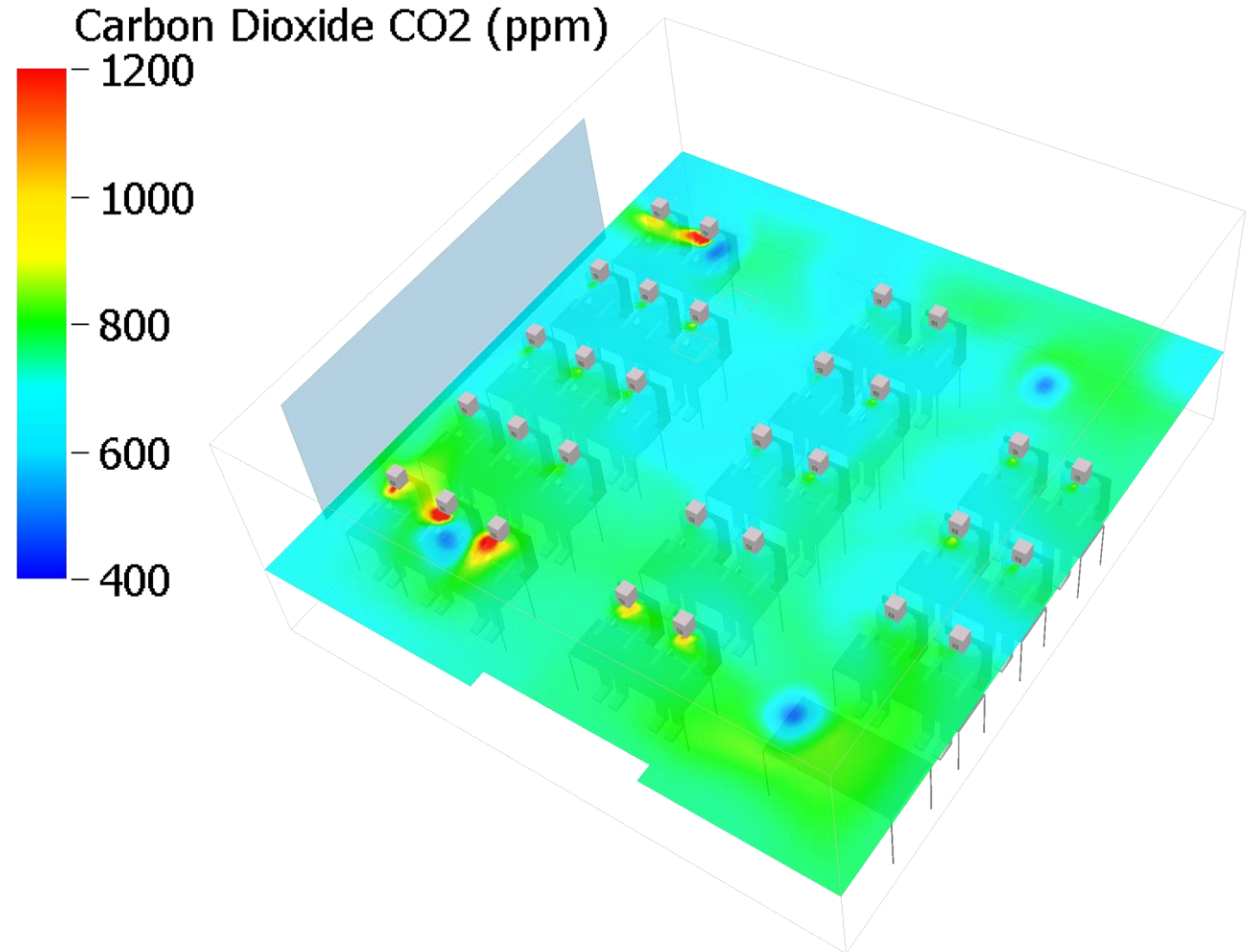
Analyse – Mengventilatie

Zomer - 28 °C

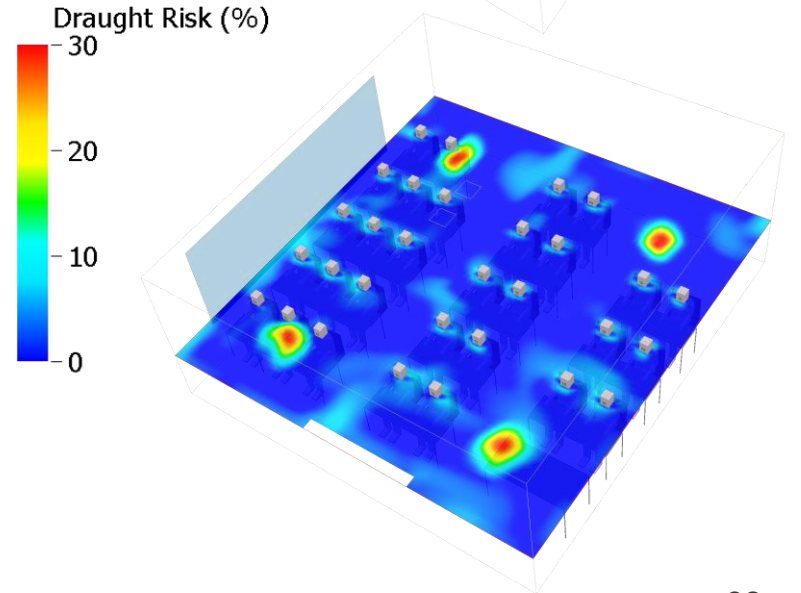
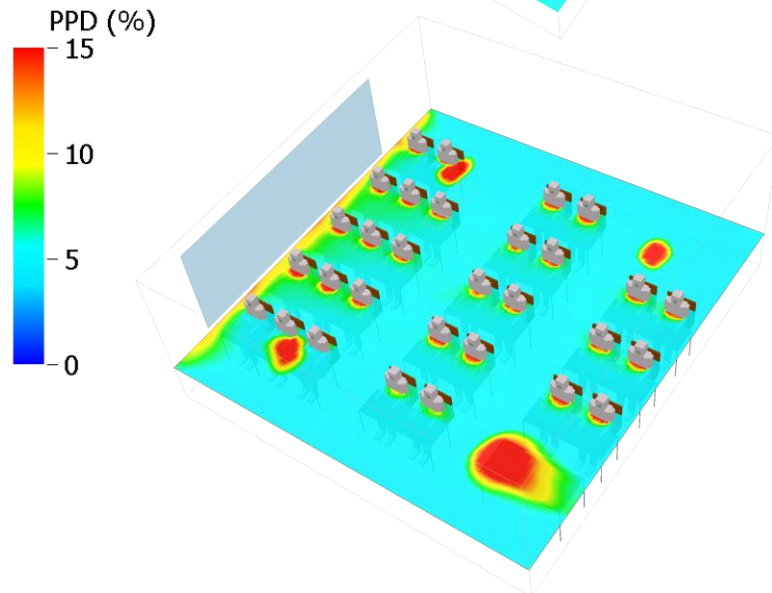
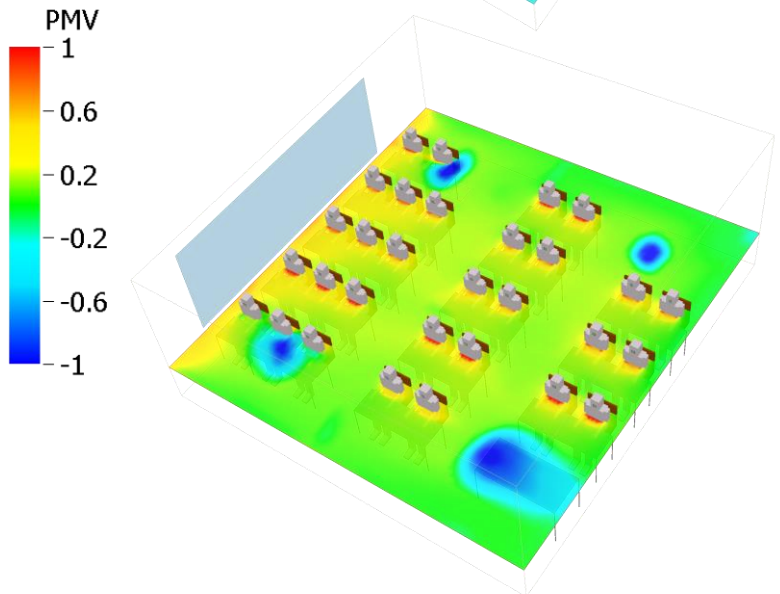
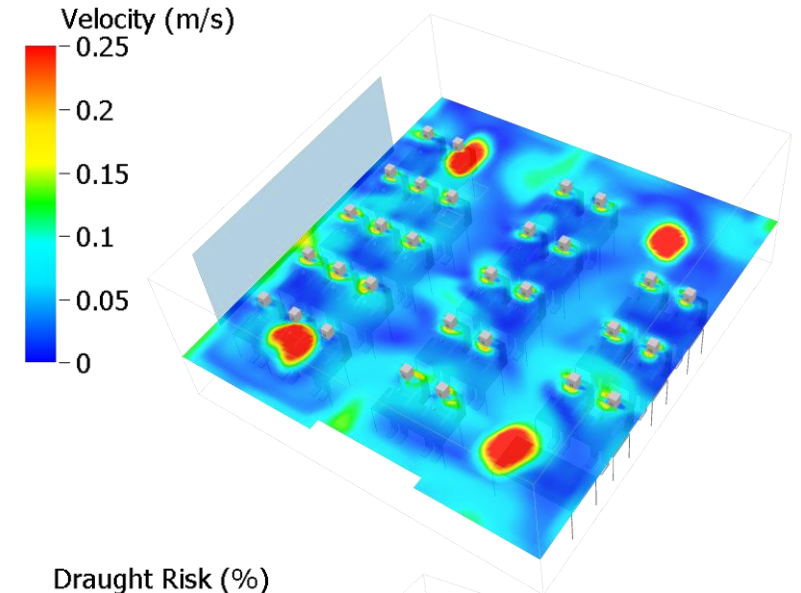
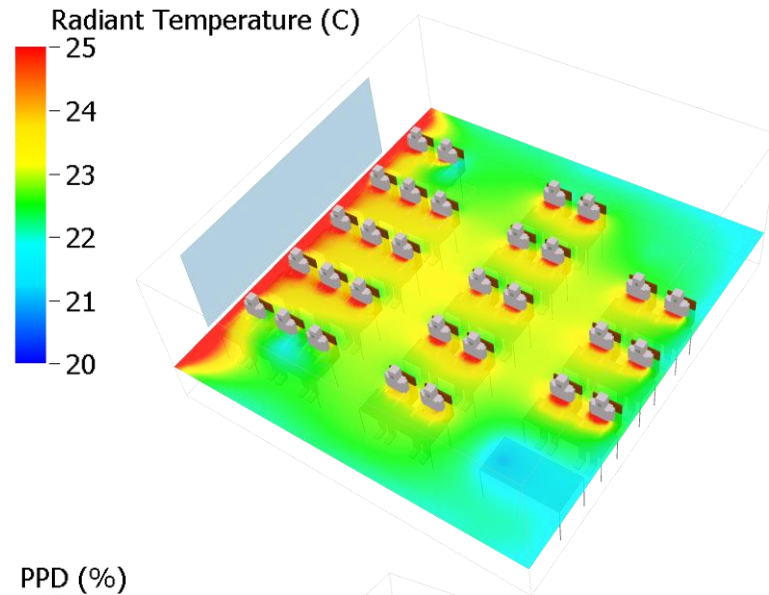
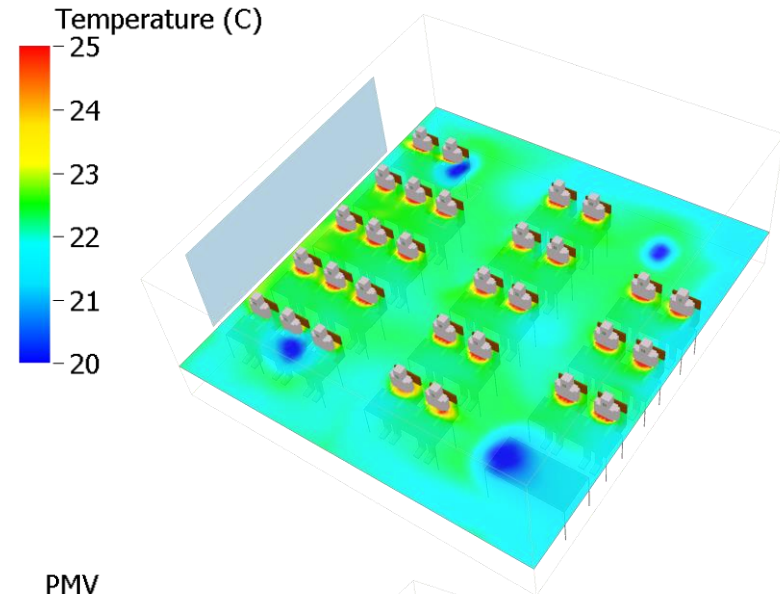
Parameter	Waarde
Luchtkwaliteit op ademhoogte	
Gemiddelde CO ₂ concentratie	<800 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	<10 ppm
Comfort	
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<10% (cat. B)
Draught rating (tocht)	<10% (cat. A) >30 onder toevoerrooster
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	<2 K (cat. A)
Vloertemperatuur	22 °C (cat. A)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Cat. A

Observaties

- Ongunste condities onder inblaasroosters



Analyse – Mengventilatie
Zomer - 28 °C



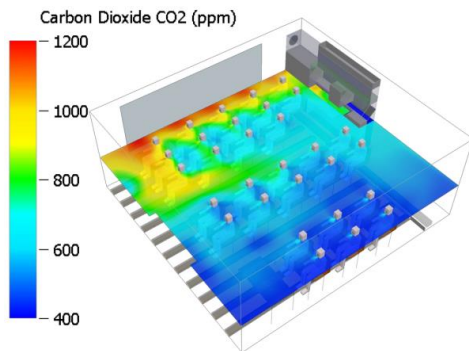
Overzicht resultaten

Parameter	Goflow winter	Goflow zomer	Goflow omgekeerd - winter	Mengventilatie winter	Mengventilatie zomer
Luchtkwaliteit op ademhoogte					
Gemiddelde CO ₂ concentratie	500 – 1100 ppm	550 - 700 ppm	800 – 1050 ppm	650 – 1200 ppm	<800 ppm
Genormaliseerde concentratie aerosolen (uitgeademde lucht: 1000 ppm)	2 – 20 ppm	4 - 8 ppm	10 – 18 ppm	7 – 22 ppm	<10 ppm
Comfort					
Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)	<6% (cat. A)	<10% (cat. B) Te warm	<6% (cat. A)	<6% (cat. A)	<10% (cat. B)
Draught rating (tocht)	0% (cat. A)*	0% (cat. A)	<10% (cat. A)	<10% (cat. A) >30 onder toevoerrooster	<10% (cat. A) >30 onder toevoerrooster
Verticaal temp. verschil (0,1 m – 1,1 m)	<3 K (cat. B)	4K (cat. C)	<2 K (cat. A)	<2 K (cat. A)	<2 K (cat. A)
Vloertemperatuur	17,6 °C (cat. C)	20 °C (cat. A)	17,7 °C (cat. C)	17,5 °C (cat. C)	22 °C (cat. A)
Stralingstemperatuurasymmetrie	Warm plafond, <5 K (cat. A)	Warm plafond, <5 K (cat. A)	Koud plafond, <14 K (cat. A)	Cat. A	Cat. A
Energiegebruik					
Drukverschil blower	52 / 72 Pa	52 / 72 Pa	57 Pa		
Warmteterugwinning	4,2 kW	- 0,6 kW	3,9 kW		
Afgegeven vermogen radiatoren	2.0 kW	-5,0 kW (50% door condensatie!) Maximaal vermogen	1.3 kW		

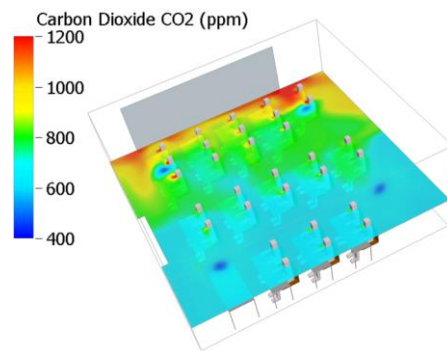
Conclusies en aanbevelingen CFD analyse Goflow

Mede op basis van het resultatenoverzicht kunnen enkele voorlopige conclusies worden getrokken:

1). Dat de luchtkwaliteit bij toepassing van het Goflow verdringingsventilatiesysteem, voor zowel de winter- als zomersituatie, gemiddeld hoger (lager CO₂) dan bij toepassing van een voor nieuwbouw veel toegepast mengventilatiesysteem (gemiddeld 100 tot 250 PPM lagere CO₂ concentratie);

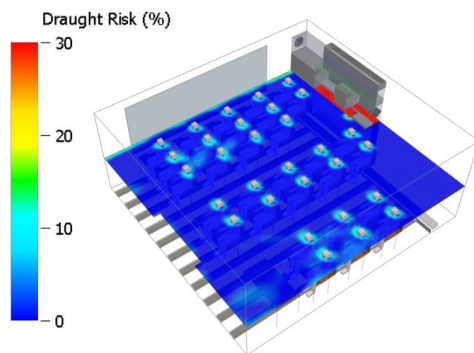


Goflow (basisontwerp), winter – CO₂

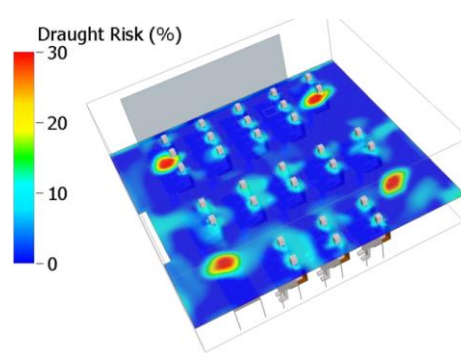


Mengventilatie, winter – CO₂

2). Het thermisch comfort is bij toepassing van het Goflow verdringingsventilatiesysteem, voor zowel de winter- als zomersituatie, gemiddeld hoger doordat de tochtverschijnselen sterk worden beperkt (DR = 0 % door verdringingsventilatie t.o.v. DR > 30 % onder toevoerrooster mengventilatie);

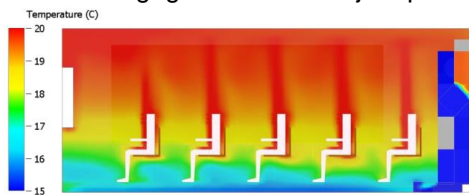


Goflow (basisontwerp), winter - DR

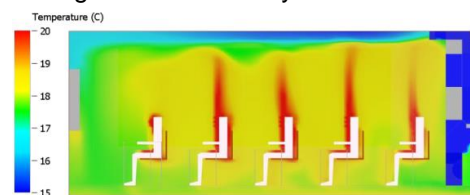


Mengventilatie, winter - DR

3). De vloertemperatuur zal door het vanuit de vloer inblazen van (te) koele toevoerlucht (t.b.v. setpoint 18 °C), laag blijven en tot klachten kunnen leiden. Dit vindt minder/niet plaats bij toepassing van verdringingsventilatie of bij toepassing van een omgekeerd Goflow systeem.



Goflow (basisontwerp) Winter (Te 0°C en Ti 18 °C)



Goflow Omgekeerd Winter (Te 0°C en Ti 18 °C)

Aanbevelingen:

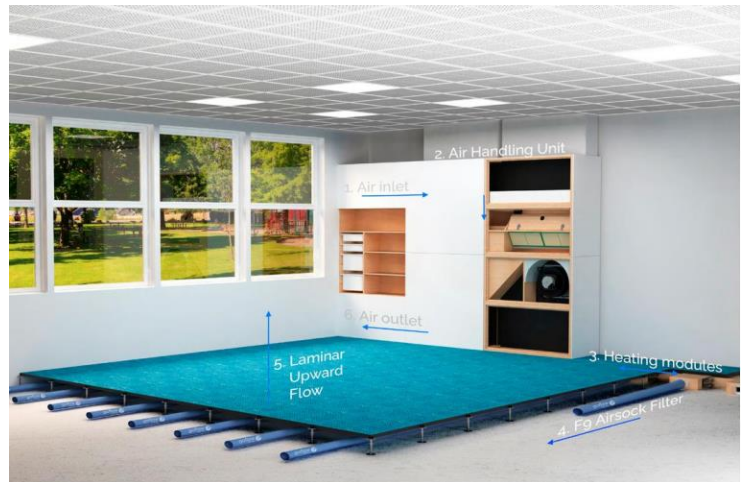
Op basis van de berekeningsresultaten en conclusies wordt geadviseerd om effecten van de volgende aanpassingen te onderzoeken:

- Het verhogen van de setpoint temperatuur (waardoor de vloertemperatuur wordt verhoogd);
- Het beperking van koudeval voor het raamoppervlak, door het verkleinen van de raamoppervlakte en/of het beperken van de U-waarde (HR+++ ipv HR++);
- Verbetering van de efficiëntie van de afzuiging, door het op meerdere punten boven het verlaagd plafond een afzuigpunt te situeren;
- Rekenen met een hoger rendement voor de warmteterugwinning (98 % ???)



PRESTATIE VERKLARING

Datum 5 december 2022
Projectnaam Goflow
Werknummer RNL160.06312.00
Betreft CFD analyse.



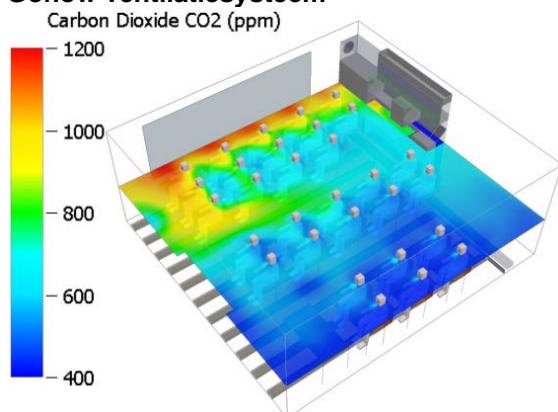
Door Deerns Nederland B.V. is onderzoek verricht naar de prestaties van het Goflow ventilatiesysteem voor klaslokalen. Hiervoor is de werking van het Goflow systeem d.m.v. CFD-analyse vergeleken met dat van een traditioneel systeem wat gebaseerd is op mengventilatie.

Het onderzoek heeft betrekking op de toepassing van het Goflow ventilatie systeem in een klaslokaal en betreft de beoordeling van de luchtkwaliteit, de energie efficiëntie en het thermisch comfort. De Simulaties zijn uitgevoerd met 6SigmaRoom software (release 16.2) van Futuretech.

Voor de analyse zijn een winter- en zomerscenario beschouwd, met een vaste buitentemperatuur van respectievelijk 0 en 18°C en een gewenste binnentemperatuur van respectievelijk 18 en 22 °C. Het aangehouden ventilatiedebiet bedraagt 1.098 m³/h, gebaseerd op programma Frisse Scholen, klasse A.

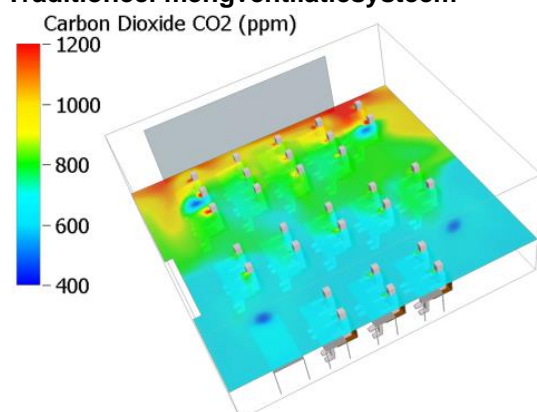
Onderstaand zijn de CFD berekeningsresultaten voor de maatgevende winterperiode weergegeven voor het Goflow ventilatiesysteem en een traditioneel systeem met mengventilatie.

Goflow ventilatiesysteem



Luchtkwaliteit	PPM CO ₂
Gemiddeld	500 – 1100
Comfort	PPD (% ontevredenen)
	< 6 % (cat. A)
Energiegebruik	% warmteterugwinning
	95 %

Traditioneel mengventilatiesysteem



Luchtkwaliteit	PPM CO ₂
Gemiddeld	650 - 1200
Comfort	PPD (% ontevredenen)
	< 6 % (cat. A)
Energiegebruik	% warmteterugwinning
	70 %