

Afstudeerverslag Frisse Scholen

Onderzoek naar verschillende decentrale systemen voor één onderwijslokaal
met als doel het verbeteren van het binnenklimaat



HUISMAN & VAN MUIJEN
ADVISEUR INSTALLATIES

Afstudeerbedrijf:

Huisman en van Muijen

Vestiging:

's-Hertogenbosch

Begeleider:

De heer J. van den Biggelaar



School:

Hogeschool Utrecht

Opleiding:

Algemene Operationele Technologie

Coördinator afstuderen:

De heer J. Jongen

Datum:

10 augustus 2010

Auteur:

Stephan Smits

Faculteit:

Faculteit Natuur & Techniek

Opleiding:

B AOT (Hogere Installatietechniek)

Studentennummer:

15378590

E-mail adres:

stephan_smits@hotmail.com

Deze scriptie is niet vertrouwelijk

Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeerverslag Frisse Scholen welke het resultaat is van een onderzoek naar de bruikbaarheid van de verschillende decentrale ventilatieoplossingen voor het Frisse Scholen concept. De nadruk zal hier liggen op hoe men met een decentrale luchtbehandelingsinstallatie een behaaglijke leeromgeving kan creëren in een onderwijslokaal. Dit onderzoek is enkel gericht op het ventileren van één standaard onderwijslokaal (50 m² vloeroppervlak, 3 meter hoogte en voor 25 personen). Op dit moment heerst er namelijk in merendeel van alle scholen in Nederland een onacceptabel niveau. Daarom worden vanuit de overheid verschillende motivaties gegeven om het binnenklimaat naar een acceptabele leeromgeving te brengen. Een van de motivaties is het Energie Binnenmilieu Advies, ook wel bekend als EBA's. Dit is een subsidieregeling vanuit de overheid om het slechte klimaat en energieverbruik te verbeteren. De reden dat voor mijn afstudeeropdracht het concept "Frisse Scholen" gekozen is, is omdat dit een zeer interessant en actueel onderwerp vond en hier nog meer van zou willen weten.

Mijn naam is Stephan Smits, woon in Aarle-Rixtel en ben op 31 juli 1987 geboren. Op dit moment zit ik in het laatste schooljaar van de opleiding Hogere Installatie Techniek die ik aan de Hogeschool Utrecht volg. Deze opleiding heb ik in duale vorm gevolgd. Dit betekent dat twee dagen besteed worden op school en drie dagen ik in loondienst ben van een leerbedrijf. Dit bedrijf is adviesbureau Huisman & van Muijen gevestigd in 's-Hertogenbosch en Eindhoven. Ikzelf ben werkzaam op het hoofdkantoor te 's-Hertogenbosch.

Mijn dank gaat uit naar alle steun van het thuisfront welke mij moreel gesteund hebben tijdens mijn opleiding en afstudeerperiode. Ook wil ik bedanken mijn collega's van Huisman & van Muijen, leraar Joost Jongen van de Hogeschool Utrecht, basisschool de Heindert te Aarle-Rixtel, voortgezet onderwijsschool Jan van Brabant te Helmond en de vertegenwoordigers van de verschillende bedrijven welke de tijd hebben genomen om mij te helpen met mijn afstudeerscriptie.

Samenvatting

Tijdens het zoeken naar een onderwerp voor de afstudeerfase van de opleiding Hogere Installatie Techniek (HIT), bestonden mijn werkzaamheden uit het maken van Energie Binnenmilieu Adviezen (EBA's). Dit is een subsidieregeling vanuit de overheid om het slechte klimaat en energieverbruik te verbeteren in het onderwijs. De EBA regeling wordt vernoemd onder het "Frisse Scholen" concept. Gezien het "Frisse Scholen" concept een zeer interessant en actueel onderwerp is, is dat ook de reden dat voor mijn afstudeeropdracht het concept "frisse scholen" heb gekozen. Hierbij is het frisse scholen concept uitgelicht en onderzocht in hoeverre systemen die op dit moment op de markt zijn, haalbaar zijn voor de basisscholen en voortgezet onderwijs, zowel bestaande bouw als nieuwbouw.

Om het binnenklimaat aan te passen is een luchtbehandelinginstallatie nodig die de lucht in het onderwijslokaal zuivert en eventueel kan verwarmen en koelen. Het grote probleem is dan ook om in bestaande bouw deze voorziening aan te brengen. In de meeste gevallen is hier geen ruimte voor. Hiervoor dienen dan alternatieve oplossingen gezocht te worden.

Een luchtbehandelinginstallatie ontbreekt in vrijwel alle scholen of is in minimale vorm aanwezig. Aangezien schoolventilatie op dit moment een zeer hot item komt menig bedrijf met een "oplossing" voor het frisse scholen concept. De verschillende ventilatiesystemen bestaan uit een gevel-, plafond-, buiten-, binnenunit. Allemaal met een andere vorm en manier van ventileren.

Aan mij is nu de taak om een aantal ventilatiesystemen te onderzoeken en berekenen of deze systemen werkelijk de geëiste luchtkwaliteit halen welke ze beloven te leveren en hoeveel energie deze systemen dan verbruiken.

Om hierbij een beeld te krijgen hoe het binnenklimaat van scholen nu werkelijk in de praktijk is zijn temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-metingen uitgevoerd op een tweetal scholen. De eerste school is het Jan van Brabant college te Helmond. Dit betreft een gebouw voor voortgezet onderwijs met niveau VMBO-T, HAVO en VWO. Zowel in de bestaande bouw als in de nieuwbouw is een meting uitgevoerd. Tevens is op de basisschool de Heindert te Aarle-Rixtel een meting uitgevoerd. De Heindert is bestaande bouw.

Op basis van deze metingen is gekeken wat op dit moment voor een binnenklimaat in een onderwijslokaal heerst. Met deze metingen zijn berekeningen en tabellen gemaakt zodat men kan zien wat het verschil is als men een luchtbehandelingssysteem zou toepassen zonder warmteterugwinning ten opzichte van een luchtbehandelingssysteem met warmteterugwinning, bypass, regeling, et cetera. Hier is uitgekomen dat als men een energiezuinig en duurzaam luchtbehandelingssysteem zou toepassen een beter binnenklimaat in de school heerst en het energieverbruik omlaag brengt.

Uit verschillende systemen is een keuze gemaakt en uitgewerkt. Voor de berekening zijn de verschillende leveranciers gevraagd naar de investering, onderhoud en plaatsingskosten van hun unit. Aan de hand van de temperatuurgegevens van jaar2009 van het KNMI is berekend wat de unit per jaar aan gas en elektriciteit verbruiken, mits een verwarmingsbatterij aanwezig is. Vanuit deze gegevens is een terugverdiëntijd berekend ten opzichte van een ventilatiesysteem wat bestaat uit enkel een toevoer en retour ventilator.

In bijlage A is nog een stromingsschema toegevoegd om sneller een keuze te maken tussen de verschillende systemen voor een bepaalde situatie.

Inhoudsopgave

Eenheden, grootheden en symbolen.....	6
1 Inleiding.....	7
2 Binnenklimaat scholen.....	8
2.1 Probleemstelling.....	8
2.2 Werkwijze.....	8
2.3 Normen.....	8
2.3.1 Bouwbesluit.....	8
2.3.2 Model Bouwverordening.....	10
2.3.3 NEN 1089 Ventilatie van schoolgebouwen.....	10
2.3.4 ISSO 89 Binnenklimaat scholen.....	10
2.4 Metingen.....	14
2.4.1 Eerste meting (Bestaande bouw – voortgezet onderwijs).....	14
2.4.2 Tweede meting (nieuwbouw – voortgezet onderwijs).....	15
2.4.3 Derde meting (bestaande bouw – basisonderwijs).....	16
2.4.3 Vierde meting (buitenmeting).....	16
3 Luchtbehandelingssystemen.....	17
3.1 Inventarisatie markt.....	17
3.2 Werkingsprincipes, concepten.....	17
3.2.1 Het Basissysteem.....	17
3.2.2 Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit.....	18
3.2.3 Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR.....	20
3.2.4 Systeem van GEA Happel Nederland – GEA Campos.....	21
3.2.5 Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY.....	22
3.2.6 Systeem van ITHO – DCW school WTW.....	23
3.2.7 Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek) – Het scholenconcept.....	25
3.2.8 Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B.....	26
3.3 Ventilatormotoren.....	28
3.3.1 AC motor.....	28
3.3.2 DC motor.....	28
3.3.3 EC motor.....	29
3.3.5 Vergelijking ventilatoren.....	29
3.3.6 Keuze motor.....	29
3.4 Kostenprijs per luchtbehandelingsunit.....	30
3.4.1 Bestaande bouw – natuurlijke ventilatie.....	30
3.4.2 Bestaande bouw – renovatie.....	30
3.4.3 Nieuwbouw – natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.....	31
3.4.4 Nieuwbouw – gebalanceerde ventilatie.....	31
3.4.5 Gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning.....	32
3.5 Vergelijking onderzochte systemen.....	32
4 Berekeningen.....	35
4.1 Warmteverliesberekening.....	35
4.1.1 Resultaat warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw.....	36
4.1.2 Resultaat warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw.....	36
4.1.3 Resultaat warmteverliesberekening basisonderwijs – bestaande bouw.....	36
4.2 Temperatuuroverschrijdingsberekening.....	37
4.2.1 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw.....	39
4.2.2 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw.....	39
4.2.2 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw.....	39
4.3 Mollier diagram.....	40
4.4 Elektra-verbruik.....	40
4.5 Gasverbruik.....	41
4.6 Terugverdientijd.....	42
5 Vergelijking gemeten onderwijslokalen.....	44
6 Conclusies.....	46
6.1 Conclusie per luchtbehandelingsunit.....	46
6.2 Keuze luchtbehandelingsunit per onderwijslokaal.....	47

7 Aanbevelingen.....	49
7.1 Metingen en berekeningen	49
7.2 Luchtbehandelingsunit met ingebouwde warmtepomp	49
7.3 Centrale luchtbehandeling.....	49
Literatuuroverzicht	50
Bijlagen	51
A. Stromingsschema.....	53
B. Principeschema's	55
C. Mollier diagrammen en luchtcondities	69
D. Grafieken	79
E. Afbeeldingen onderwijslokaal 1	89
F. Afbeeldingen onderwijslokaal 2	91
G. Afbeeldingen onderwijslokaal 3.....	93
H. Kostprijs per luchtbehandelingsunit.....	95
H.1 Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit	97
H.2 Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR	97
H.3 Systeem van GEA Happel Nederland – Campos.....	98
H.4 Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY	98
H.5 Systeem van ITHO – DCW school WTW	99
H.6 Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) – Schoolventilatie	100
H.7 Systeem van Trox Techniek (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B	100
I. Uitvoer transmissieberekening	101
J. Uitvoer temperatuuroverschrijdingsberekening	103

Eenheden, grootheden en symbolen

Alfabetische lijst van symbolen en eenheden

Grootheid/coëfficiënt		Eenheid	
Symbool	Naam	Symbool	Naam
A	oppervlak(te)	m ²	vierkante meter
B	breedte	m	meter
c	soortelijke warmte bij constant volume	J/(kg·K)	joule per kilogram·kelvin
E	energie	J	joule
e	grondtal van de natuurlijke logaritmen	-	dimensie één
h	hoogte	m	meter
h	soortelijke enthalpie	J/kg	joule per kilogram
H	enthalpie	J	joule
H _i	calorische onderwaarde	J/kg; J/m ³	joule per kilogram joule per kubieke meter
H _s	calorische bovenwaarde	J/kg; J/m ³	joule per kilogram joule per kubieke meter
I	geluidsintensiteit	W/m ²	watt per vierkante meter
K	warmtedoorgangscoefficient van warmtewisselaars	W/(m ² ·K)	watt per vierkante meter kelvin
l	lengte	m	meter
L _p	geluidsdrukniveau	dB	decibel
L _i	geluidsintensiteitsniveau	dB	decibel
L _w	geluidsvermogeniveau	dB	decibel
m	massa	kg	kilogram
p	druk; momentane geluidsdruk	Pa	pascal; newton per vierkante meter
Δp	drukverschil, drukverlies	Pa	pascal
p _{atm}	atmosferische druk	Pa	pascal
P	vermogen; energiestroom	W	watt
P _a	asvermogen	W	watt
P _{el}	opgenomen vermogen	W	watt
q _m	massastroom	kg/s	kilogram per seconde
q _v	volumestroom	m ³ /s	kubieke meter per seconde
Q	hoeveelheid warmte; stralingsenergie	J	joule
t	tijd	s	seconde
T	absolute temperatuur	K	kelvin
t	Celsiustemperatuur	°C	graden Celsius
ΔT	temperatuurverschil	K	kelvin
U	warmtedoorgangscoefficiënt van	W/(m ² ·K)	watt per vierkante meter kelvin
v	snelheid	m/s	meter per seconde
V	volume	m ³	kubieke meter
X	absolute vochtigheid van vochtige lucht	kg/kg	kilogram per kilogram
Δ	symbool waarmee een 'verandering' Van een grootheid wordt aangegeven		
η	rendement	-	dimensie één
π	verhouding tussen omtrek en middellijn van een cirkel	-	dimensie één
ρ	(massa)dichtheid	kg/m ³	kilogram per kubieke meter
Σ	som(matie)teken		
Φ	warmtestroom	W	watt

1 Inleiding

Tijdens het zoeken naar een onderwerp voor de afstudeerfase van de opleiding Hogere Installatie Techniek (HIT), bestonden mijn werkzaamheden uit het maken van Energie Binnenmilieu Adviezen (EBA's). Dit is een subsidieregeling vanuit de overheid om het slechte klimaat en energieverbruik te verbeteren in het onderwijs. De EBA regeling is naar aanleiding van het "Frisse Scholen" concept. Het "Frisse Scholen" concept verwoordt dat in veel onderwijslokalen een matig tot slecht binnenklimaat heerst. Het binnenklimaat kan worden verbeterd door het toepassen van CO₂ gestuurde ventilatie. Het "Frisse Scholen" concept is een zeer interessant en actueel onderwerp. Daarom is dit ook de reden dat het "Frisse Scholen" concept het onderwerp is van mijn onderzoek. Hierbij is het frisse scholen concept uitgelicht en onderzocht in hoeverre systemen die op dit moment op de markt zijn, haalbaar zijn voor de basisscholen en voortgezet onderwijs, zowel bestaande bouw als nieuwbouw.

2 Binnenklimaat scholen

2.1 Probleemstelling

Het is al heel lang bekend dat het binnenklimaat in onderwijsgebouwen vrij matig tot slecht is, zowel oudbouw als nieuwbouw. Ook bestaan problemen met de energiezuinigheid van de onderwijsgebouwen in Nederland. Als men over oudbouw praat, gaat het in veel gevallen over zeer oude panden wat als monument wordt gezien. Dit komt neer op matige tot geen isolatie, enkele beglazing, oude stookketel, slechte ventilatie, et cetera. Op dit moment wordt vooral veel aandacht geschonken aan de CO₂-concentratie in de onderwijsgebouwen. Iedereen weet waar men over praat als je het in het onderwijs hebt over de beslagen ramen, ``zweet lucht``, benauwde ruimtes, et cetera. GGD Nederland heeft de eis gesteld dat de CO₂-concentratie in een onderwijslokaal niet boven de 1.200 ppm mag zijn (een balansventilatie systeem zit rond de 800 ppm). Om een groot gedeelte van dit probleem te verhelpen zodat de CO₂-concentratie niet boven de 1.200 ppm uit komt zal men het onderwijslokaal mechanisch dienen te ventileren. Voor het ventileren van een onderwijslokaal dient men aan een aantal normen te voldoen welke volgens de Nederlandse overheid geëist zijn.

2.2 Werkwijze

Om eerst een duidelijk beeld te krijgen over wat de overheid nu voor eis stelt aan een onderwijsgebouw/onderwijslokaal is eerst de regelgeving bestudeerd. Dit betreft het Bouwbesluit, Model Bouwverordening, NEN 1089 Ventilatie van schoolgebouwen en ISO 89 Binnenklimaat scholen. Dit zijn zowel oude als nieuwe normen welke zijn gebruikt om uit te zoeken wat voorheen de eis was en de huidige eis is voor een onderwijslokaal.

In Nederland heerst in de onderwijsgebouwen een matig tot slecht binnenklimaat. Om dit te bevestigen zijn metingen uitgevoerd in drie verschillende onderwijslokalen.

Om het binnenklimaat te verbeteren is een luchtbehandelingssysteem nodig in het onderwijslokaal. Hiervoor is een inventarisatie gemaakt van de systemen die er op dit moment zijn. Uit deze luchtbehandelingssystemen is een keuze gemaakt, welke zijn bestudeerd en doorgerekend. Hieruit zijn resultaten gekomen welke ertoe leiden welk van de onderzochte luchtbehandelingssysteem een mogelijke oplossing kan zijn voor een bepaalde situatie.

2.3 Normen

Voor de nieuw te bouwen of te renoveren onderwijsgebouwen geldt een aantal normen. Om te beginnen is het Bouwbesluit, voorheen model bouwverordening, welke bouwtechnisch voorschriften bevat waaraan een onderwijsgebouw minimaal aan dient te voldoen.

Daarnaast is een ISO publicatie 89 Binnenklimaat scholen welke is gebaseerd op het Bouwbesluit. Deze publicatie geeft praktische richtlijnen voor het gebruik, beheer en onderhoud van klimaatinstallaties in nieuwe en bestaande scholen. Hierin wordt omschreven hoe men de CO₂-concentratie in een onderwijslokaal in een gezonde conditie kan behouden.

2.3.1 Bouwbesluit

Het Bouwbesluit bevat bouwtechnische voorschriften waaraan alle gebouwen, hieronder vallen ook scholen, in Nederland minimaal dienen te voldoen. Ook renovaties vallen onder het Bouwbesluit. De eisen hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu. Het eerste bouwbesluit is in 1992 in werking getreden en daarmee werden de technische bouwvoorschriften voor het hele land gelijk. Op 1 januari 2003 is een nieuw Bouwbesluit in werking getreden (Bouwbesluit 2003). De laatste wijzigingen van het bouwbesluit zijn van 1 januari 2006.

Verandering in het bouwbesluit per 1 januari 2006

De energieprestatiecoëfficiënt is een index die de energetische efficiëntie (verhouding van de bruikbare of nuttige energie ten opzichte van de door de mens geïnvesteerde energie) van nieuwbouw aangeeft en wordt bepaald door berekeningen zoals vastgelegd in NEN normen 2916 (utiliteitsbouw) en NEN 5128 (woningbouw). De EPC-berekening is opgenomen in het bouwbesluit en sinds 1995 is het verplicht deze bij een bouw aanvraag in te dienen. In Nederland geldt voor onderwijsgebouwen sinds 2006 een eis van 1,3, voorheen 1,5. Deze

aanscherping past binnen het streven van het kabinet om de uitstoot van CO₂ te verminderen en zo een klimaatverandering tegen te gaan.

Bezettingsgraadklasse

Een klasse die de bezettingsgraad van een gebruiksoppervlakte en de bezettingsgraad van een vloeroppervlakte aan verblijfsgebied aangeeft zoals aangegeven in tabel 1. Gezien het onderzoek om enkel één onderwijslokaal gaat met een bezetting van 25 personen in een onderwijslokaal met een vloeroppervlakte van 50 m² is de bezettingsgraad B2.

Klasse	Bezettingsgraad	
	Gebruiksoppervlakte per persoon [m ²]	Vloeroppervlakte aan verblijfsgebied per persoon [m ²]
B1	> 0,8 - <=>	> 0,5 - <=>
B2	> 2,0 - <=>	> 1,3 - <=>
B3	> 5,0 - <=>	> 3,3 - <=>
B4	> 12,0 - <=>	> 8,0 - <=>
B5	> 30	> 20,0

Tabel 1. Bezettingsgraad

Bron: www.bouwbesluit-online.nl

Gebruiksfunctie:

Één of meerdere ruimtes van één of meer gebouwen op een perceel, die dezelfde gebruiksbestemming hebben en die samen een gebruikseenheid vormen.

Verblijfsgebied:

Gedeelte van een gebruiksfunctie met tenminste een verblijfsruimte, bestaande uit één of meer op dezelfde bouwlaag gelegen aan elkaar grenzende ruimten. Hieronder vallen niet een toiletruimte, een badruimte, een technische ruimte of een verkeersruimte.

Verblijfsruimte:

Ruimte voor het verblijven van mensen. In deze ruimte vinden activiteiten plaats welke kenmerkend zijn voor een gebruiksfunctie.

Luchtverversing van een verblijfsgebied en verblijfsruimte (nieuwbouw)

Een verblijfsgebied en verblijfsruimte hebben een voorziening voor luchtverversing, bestaande uit een component voor toevoer van verse lucht en een component voor afvoer van binnenlucht. In tabel 2 staat hoeveel men minimaal dient te ventileren in een gebouw (nieuwbouw).

Gebruiksfunctie	Grenswaarden					Grenswaarden				
	Verblijfsgebied					Verblijfsruimte				
	[dm ³ /s per m ²]					[dm ³ /s per m ²]				
Onderwijsfunctie	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
1. Ruimte voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen (bijvoorbeeld scheikunde lokalen)	15	6	2,4	n.t.	n.t.	12	4,8	1,9	n.t.	n.t.
2. Andere ruimte	8,8	3,5	1,4	n.t.	n.t.	7	2,8	1,1	n.t.	n.t.

Tabel 2. Luchtverversing verblijfsgebied en verblijfsruimte

Bron: *Bouwbesluit 2003*

Heeft men één onderwijslokaal bij nieuwbouw dan is uit tabel 2 te lezen dat men minimaal 2,8 dm³/s per m² aan verse lucht dient toe te voeren. Dit komt overeen met 504 m³/h. Zijn een aantal onderwijslokalen naast elkaar gesitueerd, wat in de meeste onderwijsgebouwen is, dan spreekt men van een verblijfsgebied. Hierbij is een strengere eis. In deze onderwijslokalen dient men minimaal 3,5 dm³/s per m² aan verse lucht toevoeren. Dit komt overeen met 612,5 m³/h (bij een vloeroppervlakte van 50 m²).

Luchtverversing van een verblijfsgebied en verblijfsruimte (bestaande bouw)

Een verblijfsgebied en verblijfsruimte hebben een voorziening voor luchtverversing, bestaande uit een component voor toevoer van verse lucht en een component voor afvoer van binnenlucht. In tabel 3 staat hoeveel men minimaal dient te ventileren in een gebouw (bestaande bouw).

Gebruiksfunctie	Grenswaarden
	Verblijfsgebied
Onderwijsfunctie	[dm ³ /s per m ²]
1. ruimte voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen (bijvoorbeeld scheikunde lokalen)	1,1
2. andere ruimte	1,1

Tabel 3. Luchtverversing verblijfsgebied

Bron: *Bouwbesluit 2003*

Uit tabel 3 is te lezen dat men bij bestaande bouw minimaal 1,1 dm³/s per m² aan verse lucht dient toe te voeren. Dit komt overeen met 198 m³/h (bij een vloeroppervlakte van 50 m²).

In het bouwbesluit staat dat men minder hoeft te ventileren bij bestaande bouw dan bij nieuwbouw. Bij bestaande bouw maakt men echter geen onderscheid tussen verblijfsgebied en verblijfsruimte.

Energieprestatie (nieuwbouw)

Een nieuw onderwijsgebouw dient aan de gestelde eis te voldoen zodat het onderwijsgebouw voldoende energiezuinig is. De energieprestatiecoëfficiënt van een onderwijsfunctie is maximaal 1,3. De energieprestatiecoëfficiënt wordt bepaald volgens de NEN 2916 energieprestatie van utiliteitsgebouwen – bepalingmethode.

Energieprestatie (bestaande bouw)

Voor bestaande bouw is geen energieprestatiecoëfficiënt geëist. Echter wanneer een verbouwing of renovatie dermate groot is dat een bouwvergunning wordt aangevraagd, dient na de verbouwing of renovatie het pand aan de eis te voldoen als zijnde energieprestatiecoëfficiënt nieuwbouw.

2.3.2 Model Bouwverordening

Het model bouwverordening is de voorloper van het bouwbesluit. In het model bouwverordening staat wat men vroeger, voor het bouwbesluit, aan ventilatie moest aanbrengen in een onderwijslokaal. Door te kijken naar het model bouwverordening waarmee men vroeger een onderwijsgebouw ontwierp, kan men een beter beeld krijgen over de regeling van natuurlijke ventilatiebehoefte welke men vroeger gebruikte.

Luchtverversing van een verblijfsgebied en verblijfsruimte

Volgens het model bouwverordening dient de door de mens geproduceerde CO₂-concentratie in een verblijfsgebied op een aanvaardbaar peil gehouden worden en geurstoffen uit dat gebied in voldoende mate af te voeren. Is een verblijfsgebied opgesplitst in meerdere verblijfsruimten dan zal men in alle ruimtes het binnenklimaat volgens bovenstaande eis dienen te behandelen.

Wat echter het geval is met de model bouwverordening is dat niet wordt gesproken over hoe men het binnenklimaat op een aanvaardbaar peil dient te houden en de geurstoffen uit dat gebied in voldoende mate af te voeren.

2.3.3 NEN 1089 Ventilatie van schoolgebouwen

De NEN 1089 ventilatie van schoolgebouwen is een oude NEN norm. De NEN 1089 is wat vroeger gebruikt werd als men een onderwijsgebouw moest ventileren. In de NEN 1089 staat dat minimaal 5,5 dm³ verse lucht per seconde beschikbaar dient te zijn per leerling. Dit houdt dus in dat per onderwijslokaal 495 m³/h aan verse lucht minimaal moest worden toegevoerd. De verse luchttoevoer gebeurde voorheen vooral met te openen ramen.

2.3.4 ISSO 89 Binnenklimaat scholen

De ISSO 89 is de huidige norm welke wordt aangehouden. De ISSO 89 is er om meer informatie te geven omtrent het binnenklimaat in onderwijs. Dit omdat in het bouwbesluit enkel een minimale eis staat. In de ISSO 89 staat zeer veel informatie omtrent de huidige problemen in het onderwijsgebouwen. Dit zijn de hoge CO₂-concentratie, hoge stookkosten en hoog elektriciteitsverbruik. In de ISSO 89 wordt er met verschillende kwaliteitsklasse's voor onderwijsgebouwen gebruikt. De hoogste klasse is klasse A, dit is het hoogst haalbaar

voor een onderwijsgebouw. Klasse C is ongeveer gelijk aan het bouwbesluit. Klasse D is lager dan wettelijk minimumniveau voor nieuwbouw. Dit is dus een restklasse.

In het bouwbesluit staat dat een minimale luchtverversing per ruimte of gebied nodig is. De ISSO 89 heeft het over de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal welke weggeventileerd dient te worden. Personen produceren namelijk CO₂ door in en uit te ademen. CO₂-concentratie in de lucht wordt aangegeven in ppm. Ppm betekent parts per million (delen per miljoen). In een gesloten ruimte wordt de CO₂-concentratie hoger als 25 personen een bepaalde tijd aanwezig zijn. Dit is te merken aan beslagen ramen, warmere temperatuur, transpiratie en benauwde omgeving. Volgens de GGD Nederland (Gemeenschappelijke Gezondheidsdienst) is de grens van 1200 ppm een grens dat als je hierboven komt men mag spreken van een ongezond binnenklimaat.

Volgens de ISSO 89 binnenklimaat scholen is Klasse C gelijk aan het Bouwbesluit. In de ISSO 89 staat dat als men een gezond binnenklimaat wil creëren, dus onder de 1200 ppm wil blijven. Dan zal men bij een CO₂-concentratie van 360 ppm in de buitenlucht 20 m³/h per persoon dienen te toevoeren. Dit komt neer op 500 m³/h per onderwijslokaal voor 25 personen. Als buiten een CO₂-concentraat heerst van 500 ppm in de lucht dan zal men 25 m³/h per persoon dienen te toevoeren om onder de 1200 ppm te blijven. Dit komt neer op 625 m³/h per onderwijslokaal voor 25 personen.

Deze luchthoeveelheden zijn bepaald aan hand van de CO₂-productie van de mens. Hierbij wordt rekening gehouden met een laag activiteitsniveau (zittend les volgen in de klas). Voor het basisonderwijs is dit 13,7 l/h per kind. Voor het voortgezet onderwijs is dit 19 l/h per kind. Dit is bij het voortgezet onderwijs hoger, omdat de leerlingen die hier aanwezig zijn tussen de 13 tot 18 jaar zijn. In deze leeftijdscategorie produceert men meer CO₂ dan in de leeftijdscategorie van het basisonderwijs. De leeftijdscategorie in het basisonderwijs is ongeveer tussen de 5 en 13 jaar.

Om de exacte benodigde ventilatie te berekenen van een onderwijslokaal kan men formule 1 gebruiken welke in de ISSO 89 wordt aangegeven. Hiermee kan men de exacte bepaling van de CO₂-concentratie berekenen op basis van de volgende vergelijking uit de NEN-EN 13779 Ventilatie voor utiliteitsgebouwen - Prestatie-eisen voor ventilatie- en kamerbehandelingssystemen.

Formule 1:

$$C_{IDA}(t) = C_{IDA}(0) \cdot e^{-\frac{q_v \cdot t}{V}} + (C_{sup} + \frac{q_m}{q_v}) \cdot (1 - e^{-\frac{q_v \cdot t}{V}})$$

Waarin:

$C_{IDA}(t)$	= concentratie in ruimte op tijdstip t	[ppm]
$C_{IDA}(0)$	= concentratie in ruimte bij aanvang (t=0)	= 550 [ppm]
e^x	= e macht	[-]
C_{sup}	= concentratie in toevoerlucht naar onderwijslokaal	= 550 [ppm]
q_v	= volumestroom toevoerlucht	[m ³ /s]
q_m	= massastroom van emissie (CO ₂) in de ruimte	[m ³ /s · 1.000.000]
V	= volume van de lucht in ruimte	= 50 * 3 [m ³]
t	= tijd	[s]

Met deze vergelijking kan men het benodigde ventilatiebehoefte berekenen aan de hand van de aantal aanwezigen in het onderwijslokaal, de grootte van het onderwijslokaal en de CO₂-concentratie in de toevoerlucht. In tabel 4 staan de benodigde ventilatiebehoefte (q_v) om een bepaalde CO₂-concentratie ($C_{ida}(t)$) in een onderwijslokaal (vloeroppervlak van 50m², hoogte van 3m¹, 25 leerlingen) te behalen.

CO ₂ -concentratie C _{IDA(t)} [ppm]	q _v volumestroom toevoerlucht [m ³ /h]
800	1.440
900	1.027
1.000	800
1.100	655
1.200	554

Tabel 4. Volumestroom toevoerlucht op basis van CO₂-concentratie in onderwijslokaal aanwezig voor basisonderwijs (12-jarige)

Bron: Stephan Smits

Tabel 4 is uitgelegd op basisonderwijs. In tabel 4 is dus te zien dat als men een CO₂-concentratie van 1.200 ppm in het onderwijslokaal wil bereiken dan zal men 554 m³/h dienen toe te voeren aan verse lucht. Is een CO₂-concentratie van 1.000 ppm geëist dan zal er 1.440 aan een onderwijslokaal dienen te worden toegevoerd aan verse lucht.

Tabel 5 is uitgelegd op basisonderwijs met minimale ventilatie. Als men volgens het bouwbesluit een onderwijslokaal zou ventileren dan zou men 3,5 dm³/s per m² (693 m³/h) dienen te toevoeren aan verse lucht. Hiermee zal een CO₂-concentratie van 1.070 haalbaar zijn volgens formule 1.

q _v volumestroom toevoerlucht [m ³ /h]	CO ₂ -concentratie C _{IDA(t)} [ppm]
693	1.070

Tabel 5. CO₂-concentratie in onderwijslokaal aanwezig op basis van minimale volumestroom toevoerlucht (12-jarige)

Bron: Stephan Smits

Kijkend naar het voortgezet onderwijs dan zal men meer verse lucht dienen te toevoeren aangezien de leerlingen hier meer CO₂ produceren. In tabel 6 is uit te lezen dat als men een CO₂-concentratie van 1.200 ppm wilt behalen zal men 730 m³/h verse lucht dienen te toevoeren. Wil men een CO₂-concentratie van 800 ppm, dan zal 1.900 m³/h verse lucht toegevoerd dienen te worden.

CO ₂ -concentratie (C _{IDA(t)}) [ppm]	q _v volumestroom toevoerlucht [m ³ /h]
800	1.900
900	1.355
1.000	1.055
1.100	865
1.200	730

Tabel 6. Volumestroom toevoerlucht op basis van CO₂-concentratie in onderwijslokaal aanwezig voor voortgezet onderwijs (volwassenen)

Bron: Stephan Smits

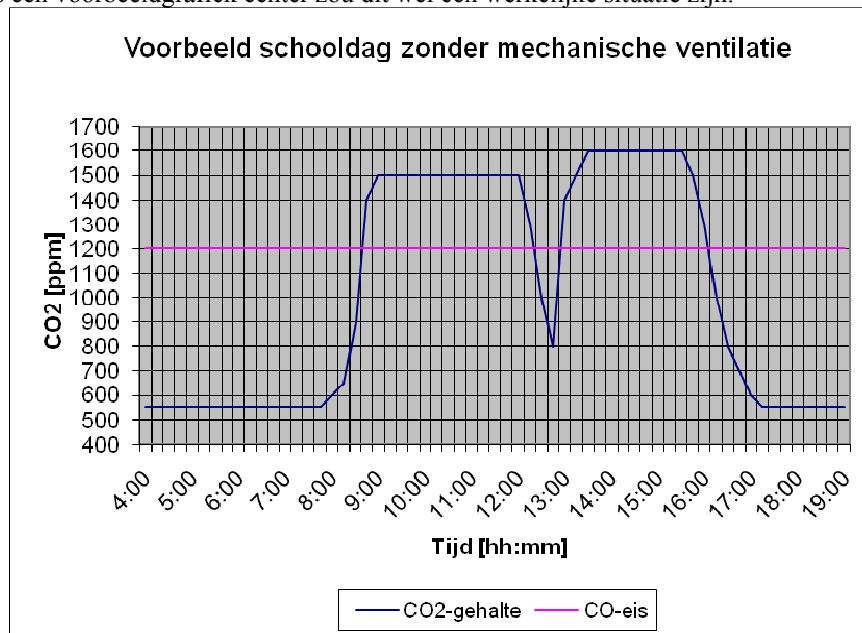
Als men gaat ventileren volgens het bouwbesluit is in tabel 7 te lezen dat dan een CO₂-concentratie van 1.236 ppm haalbaar is volgens formule 1. De minimale eis van de GGD Nederland is maximaal een CO₂-concentratie van 1.200 ppm. Deze eis wordt dus overschreden als men op het voortgezet onderwijs volgens het bouwbesluit (3,5 dm³/s per m³ wat neerkomt op 693 m³/h) gaat ventileren.

q _v volumestroom toevoerlucht [m ³ /h]	CO ₂ -concentratie C _{IDA(t)} [ppm]
693	1.236

Tabel 7. CO₂-concentratie in onderwijslokaal aanwezig op basis van minimale volumestroom toevoerlucht (volwassene)

Bron: Stephan Smits

Een voorbeeld van een schooldag in een onderwijslokaal zonder mechanische ventilatie is weergegeven in grafiek 1. Dit is een voorbeeldgrafiek echter zou dit wel een werkelijke situatie zijn.

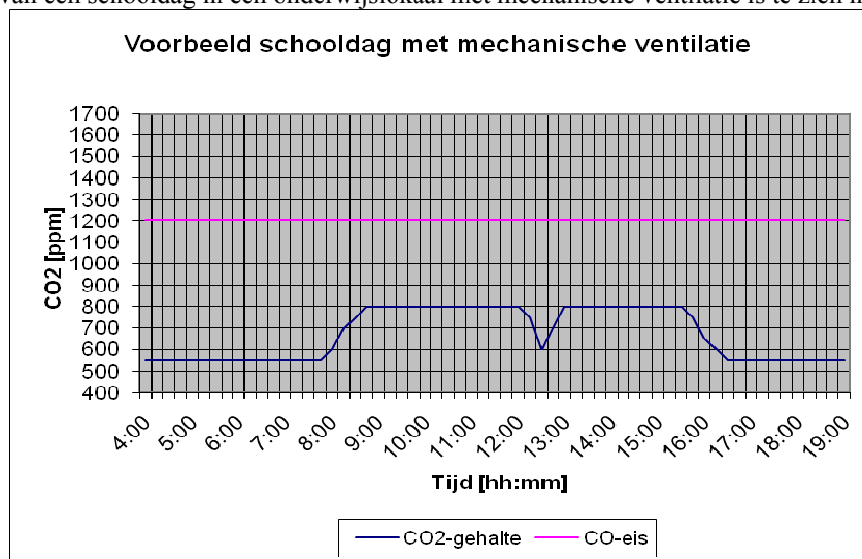


Grafiek 1. CO₂-concentratie in een onderwijslokaal op een schooldag zonder mechanische ventilatie

Bron: Stephan Smits

In grafiek 1 is te zien dat buiten gebruik een CO₂-concentratie heerst van 550 ppm. Wanneer 's ochtends het onderwijslokaal in gebruik raakt stijgt de CO₂-concentratie naar 1.500 ppm. Dit is boven de maximum geëiste 1.200 ppm van de GGD Nederland. Tijdens de middagpauze wanneer het onderwijslokaal weer buiten gebruik is zal de CO₂-concentratie langzaam dalen. In deze korte tijd zal de CO₂-concentratie niet genoeg dalen. Als gevolg hiervan als 's middags het onderwijslokaal weer in gebruik raakt zal de CO₂-concentratie nog verder stijgen naar 1.600 ppm. Als het onderwijslokaal op het einde van de middag weer buiten gebruik is zal de CO₂-concentratie weer dalen naar ongeveer dezelfde CO₂-concentratie als van buiten. Natuurlijk zal de CO₂-concentratie meer fluctueren gedurende de dag, omdat niet altijd dezelfde bezetting aanwezig is of gebruik wordt gemaakt van te openen ramen en deuren. Dit is afhankelijk van de aanwezige natuurlijke ventilatie, het gebruik hiervan, de wind op de gevel en de activiteit van de personen welke aanwezig zijn.

Een voorbeeld van een schooldag in een onderwijslokaal met mechanische ventilatie is te zien in grafiek 2.



Grafiek 2. CO₂-concentratie in onderwijslokaal van een schooldag met mechanische ventilatie

Bron: Stephan Smits

In grafiek 2 is te zien dat wanneer het onderwijslokaal 's ochtends in gebruik wordt genomen de CO₂-concentratie stijgt van 550 ppm naar 800 ppm. Gedurende de ochtend blijft de CO₂-concentratie op dit niveau tot de middagpauze. In de periode dat het onderwijslokaal niet in gebruik is daalt de CO₂-concentratie terug naar 550 ppm. Dit is namelijk de CO₂-concentratie van buiten. Als het onderwijslokaal 's middags weer in gebruik genomen wordt stijgt de CO₂-concentratie weer naar 800 ppm. Dit blijft weer op dit niveau tot het onderwijslokaal op het einde van de middag weer buiten gebruik is. Dan daalt de CO₂-concentratie weer naar dezelfde CO₂-concentratie als buiten namelijk 550 ppm. Dit is een situatie die volgens de ISSO 89 wordt beschreven als Klasse A. In het echt zal de CO₂-waarde meer fluctueren afhankelijk van de aanwezige natuurlijke ventilatie, het gebruik hiervan, de wind op de gevel en de activiteit van de personen welke aanwezig zijn.

Wanneer lucht mechanisch toe- of afgevoerd wordt, dient aandacht te worden besteed aan installatiegeluid. Geluid in de kanalen en de roosters kan worden veroorzaakt door ventilatoren of door luchtstromingen (wervelingen). Een optie om dit niet al te kostbaar te maken is de afstand tussen de ventilatoren en de personen welke aanwezig zijn in een onderwijslokaal zo groot mogelijk te maken. De ventilatoren zijn namelijk de grootste geluidsbronnen. Door een grote afstand te creëren heeft het geluid van de ventilator meer mogelijkheid om te dempen in de luchtkanalen. In veel gevallen zal dit niet voldoende zijn en zullen toch akoestische dempers geplaatst worden in de kanalen om de te hoge geluidsniveaus te dempen. Als ventilatoren worden toegepast boven een verlaagd plafond in een onderwijslokaal dient extra aandacht te worden besteed aan het afstralend geluid. Het geval is namelijk dat het afstralend geluid van de ventilatoren niet alleen via de kanalen het onderwijslokaal kan bereiken maar ook als een matige plafondconstructie aanwezig is. Deze geluidsdemping kan men realiseren door tussen de ventilatoren en plafondconstructie een geluiddempend materiaal aan te brengen.

In de ISSO 89 wordt een maximaal geluidsniveau aangegeven. Hiermee wordt bedoeld de maximale geluidsgrens dat in een onderwijslokaal aanwezig mag zijn. Kijkend naar klasse C (Bouwbesluit) gaat men uit van 35 dB(A) in een onderwijslokaal. Het geluid wordt aangegeven in dB(A), dit betekent geluidsdrukniveau. dB(A) wil zeggen dat het geluidsdrukniveau met een gewogen A-factor is bepaald.

Onze oren zijn niet voor alle frequenties even gevoelig. Bij geluidsmetingen wordt gebruik gemaakt van een filter dat de frequentiegevoeligheid van het menselijk oor benaderd. Deze filter wordt de A gewogen waarde van het geluidniveau genoemd.

2.4 Metingen

Om inzicht te verkrijgen in het binnenklimaat in het onderwijs zijn metingen verricht. De metingen houden in dat de temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-concentraat zijn gemeten over een tijdsbestek van één week. Hiermee wordt een beeld gegeven over het binnenklimaat in het onderwijs over een volledige week. Drie metingen zijn verricht op het basisonderwijs en voortgezet onderwijs. De meting voor het basisonderwijs is verricht op de basisschool de Heindert te Aarle-Rixtel. Dit was in de periode van woensdag 17 maart tot en met dinsdag 23 maart 2010. De metingen voor het voortgezet onderwijs zijn verricht op de Jan van Brabant college te Helmond. Dit was in de periode van dinsdag 2 maart tot en met maandag 15 maart 2010. In deze periode van meten was het begin maart fris en rond het vriespunt, maar na midden maart werd het zonniger (KNMI over maand maart: Vrij zacht, vrij droog en zonnig).

2.4.1 Eerste meting (Bestaande bouw – voortgezet onderwijs)

De eerste meting heeft plaatsgevonden op de Jan van Brabant college te Helmond. Dit was in een onderwijsgebouw met een bouwjaar van 1867. In bijlage E staan afbeeldingen om een beeld te krijgen van het onderwijspand. De ramen zijn enkele beglazing met een voorzetraam. De ventilatie in het onderwijslokaal is geheel natuurlijk middels te openen ramen. In de deur van het onderwijslokaal is een ventilatierooster geplaatst om wat doorspoeling met de gang te creëren. Het plafond is een systeemplafond met conventionele verlichting. Op twee van de drie radiatoren zit een thermostaat regelventiel. De zonwering is in de vorm van markiezen.

In grafiek D1 in bijlage D staan de resultaten van de eerste meting welke is uitgevoerd. Hierin is per twee minuten de temperatuur, de relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie te zien. De bezetting van het onderwijslokaal is per dag verschillend maar er kan worden aangenomen dat dit ongeveer tussen negen uur 's ochtends en vier uur 's middags ligt. De klassen hebben een gemiddelde bezetting van 25 personen. De meting heeft gelopen van dinsdag 2 maart tot en met maandag 8 maart 2010.

In grafiek D1 is te zien dat de temperatuur in het onderwijslokaal tussen de 16 en 23°C schommelt. De pieken hiervan liggen elke dag rond de 12 uur 's middags, dit zal waarschijnlijk komen doordat de buitentemperatuur 's

ochtends nog te laag ligt om hiervoor de ramen open te doen. Dit wordt dan op dat moment als niet behaaglijk bevonden. Kijkend naar de relatieve vochtigheid dan loopt deze qua piektijden ongeveer gelijk aan dat van de binnentemperatuur. Maar gedurende de week schommelt de relatieve vochtigheid nogal wat, dit heeft te maken met het vochtgehalte die buiten heerst. Zonder mechanische ventilatie is dit namelijk moeilijk tot nagenoeg niet te regelen. Hierdoor is gedurende de week een schommeling hierin tussen de 23 en 43%. Kijkend naar de CO₂-concentratie is deze sterk afhankelijk van de bezetting in het onderwijslokaal. Buiten de bezetting loopt deze terug naar de 550 ppm (parts per million). In het weekend zakt de CO₂-concentraat nog verder terug naar de 540. Hieruit blijkt dat buiten een CO₂-concentraat heerst van ongeveer 550 ppm. De CO₂-concentratie is per dag verschillend tijdens de bezettingen, maar gedurende de week is op vrijdag 5 maart de hoogst gemeten piek van 1.914 ppm. Dit is ver boven de eis welke GGD Nederland heeft gesteld aan het onderwijs. Dit is namelijk 1.200 ppm.

In grafiek D2 in bijlage D staan de resultaten van vrijdag 5 maart 2010. In grafiek D2 is beter te zien het verloop over de dag van de gemeten waarde. Ook is de CO₂-concentratie weergegeven als men mechanische ventilatie zou toepassen. Deze waarde's zijn berekend aan de hand van de ISSO 89 Binnenklimaat scholen. Hiermee is te zien dat als men mechanische ventilatie zou toepassen de CO₂-concentratie niet boven de gestelde eis van GGD Nederland uit zal komen. Rond twaalf uur zou er misschien een overschrijding van de CO₂-eis aanwezig zijn, dit zal men op dat moment dienen te compenseren met te openen ramen en deuren. Als men mechanische ventilatie zou toepassen dan zal de temperatuur ook beter regelbaar zijn.

2.4.2 Tweede meting (nieuwbouw – voortgezet onderwijs)

De tweede meting heeft plaats gevonden op de nieuwbouw locatie van de Jan van Brabant college te Helmond. Dit was in een onderwijsgebouw met een bouwjaar van 1991. Met de afbeeldingen in bijlage F men een beeld krijgen van het onderwijslokaal. De ramen zijn HR++ beglazing. De ventilatie in het onderwijslokaal wordt mechanisch toe- en afgevoerd, ook zijn er nog te openen ramen. De mechanische ventilatie van het gebouw gebeurt centraal. De ventilatiebehoefte is uitgelegd op het bouwbesluit. In het onderwijslokaal is een toevoer en retour rooster welke één aan de buitengevel en de ander boven de deur naar de gang is gesitueerd. Het plafond is een systeemplafond met energiezuinige verlichting. De zonwering is in de vorm van screens.

In grafiek D3 in bijlage D staan de resultaten van de tweede meting welke is uitgevoerd. Hierin is per twee minuten de temperatuur, de relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie te zien. De bezetting van het onderwijslokaal is per dag verschillend, maar er kan worden aangenomen dat dit ongeveer tussen negen uur 's ochtends en vier uur 's middags liggen. De klassen hebben een gemiddelde bezetting van 25 personen. De meting heeft gelopen van dinsdag 9 tot en met maandag 15 maart 2010.

In grafiek D3 kan men uit lezen dat de temperatuur in het onderwijslokaal tussen de 22 en 25°C schommelt. Deze lijn loopt gedurende de hele week nagenoeg gelijk, dit komt omdat met de luchtbehandelingskast de temperatuur goed en snel regelbaar is. In het weekend is te zien dat de temperatuur wat rare schommelingen maakt. Dit zal komen omdat de luchtbehandelingskast dan in stand-by draait. Kijkend naar de relatieve vochtigheid dan loopt deze qua piektijden ongeveer gelijk aan dat van de binnentemperatuur. Maar gedurende de week schommelt de relatieve vochtigheid nogal wat, dit heeft te maken met het vochtgehalte wat buiten heerst. Vooral aan het einde van de week is een hogere relatieve vochtigheid dan aan het begin van de week. Dit is wel te regelen met de luchtbehandelingskast, maar om dit ideaal te doen zal men een bevochtiger en een flinke koelmachine nodig hebben. Dit is in het onderwijs meestal niet het geval. Grotendeels omdat dit een dure investering is en de exploitatiekosten hiervan hoog zijn. Hierdoor is gedurende de week een schommeling tussen de 14 en 43%. Kijkend naar de CO₂-concentratie is deze sterk afhankelijk van de bezetting in het onderwijslokaal. Buiten de bezetting loopt deze terug naar de 540 ppm (parts per million). In het weekend zakt de CO₂-concentraat nog verder terug naar de 520. Hieruit blijkt dat buiten een CO₂-concentraat heerst van ongeveer 520 ppm. De CO₂-concentratie is per dag verschillend tijdens de bezettingen, maar gedurende de week is op dinsdag 9 maart de hoogst gemeten piek van 2.480 ppm. Dit is ver boven de eis welke GGD Nederland heeft gesteld aan het onderwijs. Dit is namelijk 1.200 ppm.

In grafiek D4 in bijlage D staan de resultaten van dinsdag 9 maart 2010. In grafiek D4 is beter te zien het verloop over de dag van de gemeten waarde. Wat meteen opvalt is dat de CO₂-concentratie over de gehele dag tijdens bezetting boven de CO₂-eis van 1.200 ppm is. Dit kan onder andere liggen aan de aantal personen in het onderwijslokaal aanwezig, geen/slecht gebruik van de te openen ramen, geen/slecht gebruik van de zonwering en/of de ventilatiebehoefte is te weinig. Een opstapeling van deze maatregelen zou kunnen volgen tot het slechte binnenklimaat wat in grafiek D4 is te zien.

2.4.3 Derde meting (bestaande bouw – basisonderwijs)

De derde meting heeft plaats gevonden op basisschool de Heindert te Aarle-Rixtel. Dit was in een onderwijsgebouw met een bouwjaar van 1960. Met de afbeeldingen in bijlage G kan men een beeld krijgen van het onderwijspand. De ramen zijn dubbele beglazing. De ventilatie in het onderwijslokaal is geheel natuurlijk middels te openen ramen. In de deur van het onderwijslokaal is een ventilatierooster geplaatst om wat doorspoeling met de gang te creëren. Het plafond is een systeemplafond met conventionele verlichting. Op drie van de vijf radiatoren zit een thermostaat regelventiel. In het onderwijslokaal is geen zonwering aanwezig.

In grafiek D5 in bijlage D staan de resultaten van de derde meting welke is uitgevoerd. Hierin is per twee minuten de temperatuur, de relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie te zien. De bezetting van het onderwijslokaal is per dag verschillend, maar er kan worden aangenomen dat dit ongeveer tussen negen uur 's ochtends en vier uur 's middags liggen. De klassen hebben een gemiddelde bezetting van 25 personen. De meting heeft gelopen van woensdag 17 maart tot en met dinsdag 23 maart 2010.

Uit grafiek D5 valt te lezen dat de temperatuur in het onderwijslokaal tussen de 16° en 23°C schommelt. De pieken hiervan liggen elke dag in de ochtend ver boven de gestelde eis van de GGD Nederland. Een verklaring hiervoor kan zijn doordat de buitentemperatuur 's ochtends nog te laag ligt om hiervoor de ramen open te doen. Dit wordt dan op dat moment als niet behaaglijk bevonden. Kijkend naar de relatieve vochtigheid dan loopt deze qua piektijden ongeveer gelijk aan dat van de binnentemperatuur. Maar gedurende de week schommelt de relatieve vochtigheid nog al wat, dit heeft te maken met het vochtgehalte wat buiten heerst. Zonder mechanische ventilatie is dit namelijk moeilijk tot nagenoeg niet te regelen. Hierdoor is gedurende de week een schommeling tussen de 36 en 55%. Kijkend naar de CO₂-concentratie is deze sterk afhankelijk van de bezetting in het onderwijslokaal. Buiten de bezetting loopt deze terug naar de 550 ppm. In het weekend zakt de CO₂-concentratie nog verder terug naar de 515 ppm. Hieruit blijkt dat buiten een CO₂-concentratie heerst van ongeveer 530 ppm. De CO₂-concentratie is per dag ongeveer gelijk aan elkaar. Enkel vrijdag 19 maart is deze een stuk lager dan de overige dagen. Dit kan zijn doordat op vrijdag waarschijnlijk een mindere bezetting was dan de overige dagen. Op donderdag 18 maart is de hoogst gemeten piek van 2.016 ppm. Dit is ver boven de eis welke GGD Nederland heeft gesteld aan het onderwijs. Dit is namelijk 1.200 ppm.

In grafiek D6 in bijlage D staan de resultaten van donderdag 18 maart 2010. In grafiek D6 is beter te zien het verloop over de dag van de gemeten waarde. Ook is de CO₂-concentratie weergegeven als men mechanische ventilatie zou toepassen. Deze waarden zijn berekend aan de hand van de ISSO 89 Binnenklimaat scholen. Hiermee is te zien dat als men mechanische ventilatie zou toepassen de CO₂-concentratie niet boven de gestelde eis van GGD Nederland uit zal komen. Rond half elf zou misschien een overschrijding van de CO₂-eis aanwezig zijn, dit zal men op dat moment dienen te compenseren met te openen ramen en deuren.

2.4.3 Vierde meting (buitenmeting)

In grafiek D7 uit bijlage D staan de resultaten van donderdag 25 maart 2010. In grafiek D7 is af te lezen de temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie. Uit grafiek D7 is af te lezen dat de CO₂-concentratie van de buitenlucht een gemiddelde heeft van 550 ppm. De CO₂-concentratie van de buitenlucht is van belang voor de berekeningen uit de ISSO 89 Binnenklimaat scholen.

3 Luchtbehandelingssystemen

Om in een onderwijslokaal een gezond en behaaglijk klimaat te creëren is een luchtbehandelingssysteem nodig. De ruimtelucht wordt hiermee uit het onderwijslokaal naar buiten gezogen en de verse lucht wordt bijvoorbeeld via de gevel toegevoerd, doordat in het onderwijslokaal een onderdruk heerst. De toevoerlucht dient nog verwarmd te worden om het onderwijslokaal op temperatuur te houden. Dit kan middels radiatoren. Met bovenstaand principe kan een onderwijslokaal geventileerd worden. Echter zit hier weinig tot geen energiezuinigheid en warmteterugwinning in. Er zullen dus andere systemen dienen te worden toegepast om een gezond binnenklimaat te creëren die ook energiezuinig zijn. Gezien op dit moment veel van dit soort systemen op de markt zijn, zijn verschillende bedrijven en vertegenwoordigers, die deze luchtbehandelingssystemen verkopen en/of maken, benaderd voor meer informatie over de om over deze verschillende luchtbehandelingssystemen. Hieruit is een keuze gekomen over een aantal van deze luchtbehandelingssystemen, die nog nader zijn onderzocht. Deze verschillende luchtbehandelingssystemen worden in de volgende paragrafen behandeld met betrekking tot de werking, investering en de exploitatiekosten.

3.1 Inventarisatie markt

In dit onderzoek is een keuze gemaakt uit veel verschillende luchtbehandelingssystemen. De luchtbehandelingssystemen zijn enkel gericht op het ventileren van één standaard onderwijslokaal (50 m² vloeroppervlak, 3 meter hoogte en voor 25 personen). Tijdens het maken van het onderzoek zijn andere luchtbehandelingssystemen ontworpen door verschillende leveranciers welke niet zijn meegenomen. Deze nieuwe luchtbehandelingssystemen zijn niet verwerkt in het onderzoek, omdat continu nieuwe systemen worden gemaakt en dan continu achter de feiten aan wordt gelopen. Hierdoor is aan het begin van het onderzoek een keuze gemaakt van de luchtbehandelingssystemen die onderzocht zullen worden. De gekozen systemen zijn:

1. Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit;
2. Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR in combinatie met de ELAN;
3. Systeem van GEA Happel Nederland – Campos;
4. Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY
5. Systeem van ITHO – DCW school WTW
6. Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) – Schoolventilatie
7. Systeem van Trox Techniek (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Deze zeven luchtbehandelingssystemen zijn onderzocht en financieel bekeken. Hierbij kan men aan de hand van de terugverdientijd snel zien of een systeem rendabel is. Om deze terugverdientijd te kunnen berekenen zal men van een standaard situatie uit dienen te gaan. Dit betekent hetgeen wat nodig is vanuit het bouwbesluit zonder bijgevoegde luxe. Dit standaardsysteem heet het basissysteem. Hierin zit een toevoer en retour ventilator, twee filters, geluiddempers en een verwarmingsbatterij welke de toevoerlucht verwarmd. Dit is een vrij simpel en goedkoop systeem, maar omdat in het basissysteem geen warmteterugwinning aanwezig is, is een systeem met een hogere investering een betere optie, omdat de exploitatiekosten hier lager zijn en zich daardoor terugverdient naarmate de jaren verstrijken.

Elk systeem is uitgewerkt met de werking, de investeringskosten en de exploitatiekosten. Ook is bij elk systeem een mollier diagram bijgevoegd. In het mollier diagram zijn de luchtcondities in de luchtbehandelingsunit te zien. Met het molliers diagram wordt een duidelijker beeld geschept over hoe de luchtcondities zich gedragen in de luchtbehandelingsunit en het onderwijslokaal.

3.2 Werkingsprincipes, concepten

Om de systemen beter te begrijpen staat in deze paragraaf onder andere de werking, de opstelling en onderdelen. Het basissysteem wordt als eerst behandeld omdat in feite alles wordt vergeleken met dit systeem. Daarna volgen de overige systemen op alfabetische volgorde en zoals in paragraaf 3.1 aangegeven..

3.2.1 Het Basissysteem

Werking

Het basissysteem bestaat uit een toevoer- en een retourkast. De buitenlucht wordt aangezogen door de toevoerkast. Hierbij wordt de buitenlucht indien nodig verwarmt naar een behaaglijke inblaas temperatuur door middel van een verwarmingsbatterij. De ruimtelucht wordt aangezogen door de retourkast. De retourkast blaast

de retourlucht zonder er iets mee te doen naar buiten. Om een beeld van het basissysteem te krijgen is principieschema B1 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de toevoer- en retourkast de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De ventilatoren zitten aan de aanzuig- en afblaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilatoren naar buiten af te voeren. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nacht vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaasttemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit Mollier diagram C1 wat in bijlage C is toegevoegd blijkt dat de inblaasttemperatuur 19 °C is. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C1 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C1.

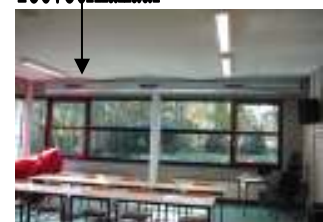
Plaatsing

Aangezien bij het basissysteem de toevoer- en retourkast zowel los als bij elkaar kunnen, staan zijn hier meerdere opstellingen mogelijk. Op het dak, in berging, op zolder, in verlaagd plafond en ook in het onderwijslokaal onder het verlaagd plafond (zichtwerk).

Kenmerken

Opstelling	: Alle vormen mogelijk, afhankelijk van de situatie
Luchtcapaciteit	: 730 m ³ /h
WTW	: Nee
Bypass	: Nee
Ventilator	: Gelijkstroom
Geluidsdempers	: Ja
Verwarmingsbatterij	: Ja, optie
Koelbatterij	: Nee, optie
Distributie	: Alle mogelijke vormen, afhankelijk van de opstelling

Toevoerkanaal



Afbeelding 1.
Voorbeeld
toevoerkanaal
Bron: Sint Vitus college
te Naarden

3.2.2 Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchttrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de

warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van Auerhaan te krijgen is princieschema B2 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De ventilatoren zitten aan de aanzuig- en afblaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilatoren naar buiten af te voeren. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nacht vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaastemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit het Mollier diagram C2 wat in bijlage C is toegevoegd blijkt dat de inblaastemperatuur 18,4 °C is. Dit kan men als inblaastemperatuur aannemen. Echter als men de bypass bij invriesgevaar gaat gebruiken is een naverwarmer noodzakelijk, anders zal men een te koude inblaaslucht in het onderwijslokaal inblazen. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C2 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C2.

Plaatsing

De HR-WTWschoolunit is een luchtbehandelingsunit welke in een zolder of op het dak gesitueerd dient te worden.

Kenmerken

Opstelling	: Buitenopstelling
Luchtcapaciteit	: 800 m ³ /h
WTW	: Hoogrendement platenwisselaar (89%)
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x EC-ventilator
Geluidsdempers	: Ja
Verwarmingsbatterij	: Ja, optie
Koelbatterij	: Ja, optie
Distributie	: Alle mogelijke vormen



Afbeelding 2. HR-WTWschoolunit (buitenopstelling)

Bron: Auerhaan klimaattechniek

3.2.3 Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchtrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van Brink Climate Systems te krijgen is prinseschema B3 toegevoegd in bijlage B. De batterij voor de naverwarming kan ook gebruikt worden als koelbatterij mits hier koelleidingen op aangesloten worden. Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De ventilatoren zitten aan de aanzuig- en afblaaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilatoren naar buiten af te voeren. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nacht vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaasttemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit Mollier diagram C3, wat in bijlage C is toegevoegd, is te zien dat nagenoeg geen naverwarmer nodig is omdat de WTW de buitenlucht al verwarmt naar een acceptabele inblaasttemperatuur. Echter wil men de bypass gaan gebruiken bij invriesgevaar dan zal men een naverwarmer moeten toepassen, anders zal een te koude inblaasttemperatuur in het onderwijslokaal worden gebracht. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C3 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C3.

Plaatsing

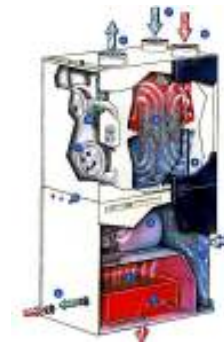
Als voor een geveldoorvoer wordt gekozen, dient de unit bij de gevel geplaatst te worden. Bij een dakdoorvoer is dit niet nodig. Wel dient de unit te worden omtimmerd, in een berging of op een zolder worden geplaatst. Zie afbeelding 3 en 4 om een beter beeld te krijgen van de plaatsing.

Kenmerken

Opstelling	: Binnenopstelling, in omkasting/berging/zolder
Luchtcapaciteit	: 800 m ³ /h
WTW	: Hoogrendement platenwisselaar (95%)
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x EC-ventilator
Geluidsdempers	: Ja, optie
Verwarmingsbatterij	: Ja, optie
Koelbatterij:	: Ja, optie
Distributie	: Alle mogelijke vormen



Afbeelding 3. Voorbeeld installatie Renovent HR
Bron: Brink Climate Systems



Afbeelding 4. Renovent HR met ELAN
Bron: Brink Climate Systems

3.2.4 Systeem van GEA Happel Nederland – GEA Campos

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchtrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van GEA Happel Nederland te krijgen is prinsipschema B4 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De ventilatoren zitten aan de aanzuig- en afblaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilatoren naar buiten af te voeren. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nachts vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeert tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaastemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit Mollier diagram C4, wat in bijlage C is toegevoegd, is te zien dat nagenoeg geen naverwarmer nodig is omdat de WTW de buitenlucht al verwarmt naar een acceptabele inblaastemperatuur. Echter wil men de bypass gaan gebruiken bij invriesgevaar dan zal men een naverwarmer moeten toepassen, anders zal een te koude inblaastemperatuur in het onderwijslokaal worden gebracht. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt

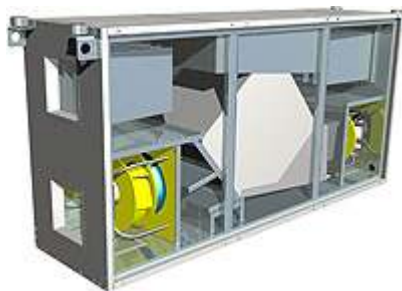
gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C4 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C4.

Plaatsing

De GEA Campos is een luchtbehandelingsunit welke in een zolder of op het dak gesitueerd dient te worden.

Kenmerken

Opstelling	: Buitenopstelling
Luchtcapaciteit	: 750 m ³ /h
WTW	: Hoogrendement platenwisselaar (90,5%)
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x EC-ventilator
Geluidsdempers	: Niet standaard
Verwarmingsbatterij	: Ja
Koelbatterij:	: Optie
Distributie	: Alle mogelijke vormen.



Afbeelding 5. GEA Campos
Bron: GEA Happel Nederland



Afbeelding 6. GEA Campos
(buitenopstelling)
Bron: GEA Happel Nederland

3.2.5 Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchtrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van Interland Techniek te krijgen is prinsipschema B5 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De retour ventilator zit aan de afblaaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilator naar buiten af te voeren. De toevoerventilator zit aan de binnenzijde ten opzichte van de platenwisselaar. Hierdoor zal nog wat meer geluid richting het onderwijslokaal gaan. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nachts vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan

zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaastemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit Mollier diagram C5 uit bijlage C is te zien dat de platenwisselaar de buitentemperatuur niet tot een behaaglijke inblaastemperatuur kan brengen. Daarom is hier een naverwarmer noodzakelijk. De naverwarmer zal de temperatuur nog verwarmen naar een acceptabele inblaastemperatuur. Als de bypass dreigt te gaan invriezen, dan zal de toevoerlucht over de bypass gestuurd worden. De naverwarmer dient dan de lucht naar een acceptabele inblaastemperatuur te verwarmen. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C5 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C5.

Plaatsing

De Sabiana ENY is een ventilatie-unit welke verticaal in het onderwijslokaal wordt geplaatst in een akoestische omkasting. Deze kast wordt in het onderwijslokaal tegen de gevel geplaatst waar doorvoeringen zitten naar buiten voor aanzuig en afblaas. Naast doorvoeringen door de gevel kan ook gekozen worden voor een dakdoorvoer.

Kenmerken

Opstelling	: Binnenopstelling
Luchtcapaciteit	: 600 m³/h
WTW	: Platenwisselaar (60%)
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x DC-ventilator
Geluidsdempers	: Ja
Verwarmingsbatterij	: Ja
Koelbatterij	: Ja
Distributie	: Alle mogelijke vormen



Afbeelding 7. Voorbeeld installatie Sabiana ENY

Bron: Interland Techniek

3.2.6 Systeem van ITHO – DCW school WTW

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchttrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van ITHO te krijgen is principeschema C6 toegevoegd in bijlage C.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De retour ventilator zit aan de afblaaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilator naar buiten af te voeren. De toevoerventilator zit aan de binnenzijde ten opzichte van de platenwisselaar. Hierdoor zal nog wat meer geluid richting het onderwijslokaal gaan. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en

luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. De lucht wordt aangezogen en afgeblazen via gevel of dak. De unit maakt gebruik van het Coanda effect dus hij zal tegen het plafond aan moeten worden geplaatst. Het Coanda effect, ook wel bekend als het klefeffect, is dat als de toevoerlucht horizontaal onder het plafond wordt uitgeblazen het de neiging heeft aan het plafond te blijven “kleven” zodat hierdoor de worp van de toevoerlucht langer wordt. De lucht kan onder anderen door plafondroosters, wandroosters en textiele slangen worden verdeeld in het onderwijslokaal. Tevens kan men kiezen voor toevoer- en retourroosters boven een verlaagd plafond.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om ‘s nacht vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaasttemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal ‘s ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

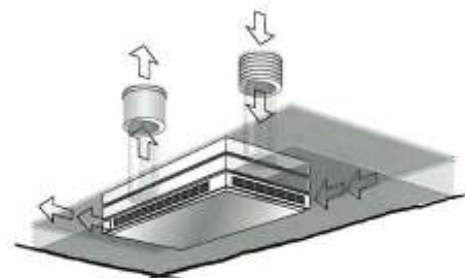
Uit Mollier diagram C6 in bijlage C is te zien dat het rendement van de WTW de buitentemperatuur niet tot een behaaglijke inblaasttemperatuur kan brengen, een naverwarmer is noodzakelijk. De naverwarmer zal de temperatuur nog verwarmen naar een behaaglijke inblaasttemperatuur. De naverwarmer dient ook als de bypass dreigt te gaan invriezen dan zal men de lucht over de bypass sturen. De naverwarmer dient dan de lucht naar een behaaglijke inblaasttemperatuur te verwarmen. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C6 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C6.

Plaatsing

De luchtbehandelingsunit dient tegen het plafond geplaatst te worden. Het beste is om de luchtbehandelingsunit gedeeltelijk in het verlaagd plafond weg te werken. Naast doorvoeringen door de gevel kan ook gekozen worden voor een dakdoorvoer.

Kenmerken

Opstelling	: Binnenopstelling, tegen plafond
Luchtcapaciteit	: 725 m ³ /h
WTW	: Platenwisselaar (82%)
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x EC-ventilator
Geluidsdempers	: Niet standaard
Verwarmingsbatterij	: Nee, optie
Koelbatterij:	: Nee
Distributie	: Alle mogelijke vormen.



Afbeelding 8. DCW school WTW, situatie in verlaagd plafond
Bron: ITHO



Afbeelding 9. Voorbeeld installatie Sabiana ENY

Bron: ITHO

3.2.7 Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek) – Het scholenconcept

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft dynamische warmteterugwinning. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchtrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van Klimaatgroep Holland te krijgen is prinsipeschema B7 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoerlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De retourlucht wordt afgezogen middels onderdruk in de ventilatieunit. Gezien er maar één ventilator aanwezig is, is er minder geluidsproductie in de unit en dus minder geluidsoverlast in het onderwijslokaal. Om dit nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. Afvoer van ventilatie en/of van overtollige warmte, geschiedt energieloos omdat er maar één ventilator is. De lucht wordt aangezogen en afgeblazen via gevel of dak. De lucht kan middels plafondroosters, wandroosters, textiele slangen, et cetera worden verdeeld in het onderwijslokaal. Roosters in de borstwering dienen omtimmerd te worden.

Bypass

De regeling gebeurt met de dynamische warmteterugwinning. De dynamische warmteterugwinning is geschikt om 's nachts vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen.

Regeling

Regeling op basis van het CO₂-gehalte in het onderwijslokaal. Als het onderwijslokaal bezet is met leerlingen dan zal de dynamische warmteterugwinning een deel van de buitenlucht en een deel van de ruimtelucht gebruiken als toevoerlucht. Op dat moment wordt dus gerecirculeerd. Hierdoor zal in de toevoerlucht een hogere CO₂-concentratie aanwezig zijn. Daarmee zal de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal sneller stijgen dan normaal. Het beste is dan om alle toevoerlucht van buiten aan te zuigen en deze toe te voeren aan het onderwijslokaal. De naverwarmingsbatterij zal hierdoor meer verbruiken dan gewoonlijk. Dit komt omdat het rendement van de dynamische warmteterugwinning zeer snel daalt als er niet wordt gerecirculeerd. Het rendement varieert tussen de 25 en 90 %.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaasttemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Gezien het rendement van de warmteterugwinning tussen de 25 en 90% zit zijn twee Mollier diagrammen van gemaakt. Mollier diagram C7 in bijlage C is berekend met 25% rendement. Mollier diagram C8 in bijlage C is berekend met 90%. Gezien dit rendement vrij laag kan zijn is een naverwarmer noodzakelijk. De naverwarmer zal de temperatuur nog verwarmen naar een behaaglijke inblaasttemperatuur. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C7 en C8 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C7 en C8.

Plaatsing

De luchtbehandelingsunit dient in het verlaagd plafond geplaatst te worden. Naast doorvoeringen door de gevel kan ook gekozen worden voor een dakdoorvoer.

Kenmerken

Luchtcapaciteit	: 800 m ³ /h
WTW	: Dynamische warmteterugwinning (25 tot 90%)
Bypass	: N.v.t.
Ventilator	: 1 x DC-ventilator
Geluidsdempers	: Niet standaard
Verwarmingsbatterij	: Ja
Koelbatterij:	: Ja
Distributie	: Alle mogelijke vormen.



Afbeelding 10. Voorbeeld installatie het Scholenconcept

Bron: Klimaatgroep Holland

3.2.8 Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Werking

De luchtbehandelingsunit heeft een hoog rendement kruisstroom platenwisselaar. De retourlucht stroomt via de kruisstroom platenwisselaar tegen de luchttrichting van de toevoerlucht door de platenwisselaar. Hierbij wordt de warmte welke de retourlucht bevat onttrokken aan de koude toevoerlucht. Om een beeld van het systeem van Trox Technik te krijgen is principieschema B8 toegevoegd in bijlage B.

Voordat de luchtbehandelingsunit de toevoer- en retourlucht aanzuigt, wordt deze eerst gefilterd om de lucht te zuiveren alvorens deze wordt ingeblazen. De retour ventilator zit aan de afblaszijde van de luchtbehandelingsunit om een groot deel van de geluidsproductie van de ventilator naar buiten af te voeren. De toevoerventilator zit aan de binnenzijde ten opzichte van de platenwisselaar. Hierdoor zal nog wat meer geluid richting het onderwijslokaal gaan. In de unit zitten standaard geluidscoullissen ingebouwd, maar om het geluidsvermogen nog meer te beperken worden geluidsdempers aan de luchttoevoer en luchtretour zijde van de luchtbehandelingsunit geplaatst. Optioneel kan ook gebruik worden gemaakt van koeling. Aangezien het een kleine unit is van maximaal 250 m³/h zullen per onderwijslokaal drie stuks geplaatst dienen te worden. Hierbij zal nog wel een omkasting dienen te worden gemaakt om de unit netjes weg te werken. De lucht kan middels luchtroosters in de omkasting worden verdeeld in het onderwijslokaal.

Bypass

De regeling van een platenwisselaar gebeurt met een bypass. Door de bypass is de platenwisselaar ook geschikt om 's nachts vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen. Tevens is de bypass een beveiliging tegen het invriezen van de platenwisselaar. Als deze een hele tijd een buitentemperatuur van onder het vriespunt aanzuigt, bestaat de mogelijkheid dat deze dichtvriest. Als dit gebeurt, bestaan er twee opties. Toevoerventilator toert af en laat zo de retourtemperatuur de bevroren platenwisselaar ontdooien of alles wordt over de bypass gestuurd en op temperatuur gebracht met een naverwarmer. De bypass gaat om de platenwisselaar heen.

Regeling

Regeling is op basis van de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal. Als de CO₂-concentratie in het onderwijslokaal op een acceptabel niveau (onder de 1.200 ppm) verkeerd tijdens bezetting zal de unit naar bouwbesluit gaan ventileren. Stijgt de CO₂-concentratie richting de maximale geëiste grens van 1.200 ppm dan zal de luchtbehandelingsunit naar de maximale luchtcapaciteit optoeren. Hierdoor zal een overschrijding van de 1.200 ppm voorkomen worden.

De temperatuurregeling van de luchtbehandelingsunit is variabel. De inblaasttemperatuur zal variëren afhankelijk van de buiten- en binnentemperatuur. Voorbeeld: Binnentemperatuur 24 °C en de buitentemperatuur is 17 °C dan zal de buitenlucht via de bypass gaan en direct worden ingeblazen. Hierdoor is er een natuurlijke vorm van koeling aanwezig in het onderwijslokaal.

De radiatoren in het onderwijslokaal dienen voor de opwarming van het lokaal 's ochtends, in de winter en ook het compenseren van het transmissieverlies.

Mollier diagram

Uit Mollier diagram C9 in bijlage C is te lezen dat het rendement van de WTW de buitentemperatuur niet tot een behaaglijke inblaastemperatuur kan brengen is hier een naverwarmer noodzakelijk. De naverwarmer zal de temperatuur nog verwarmen naar een behaaglijke inblaastemperatuur. De naverwarmer dient ook als de bypass dreigt te gaan invriezen dan zal men de lucht over de bypass sturen. De naverwarmer dient dan de lucht naar een behaaglijke inblaastemperatuur te verwarmen. Het lage vochtgehalte in de toevoerlucht wordt gemengd met het vochtgehalte in het onderwijslokaal. In tabel C9 in bijlage C staan de luchtcondities van Mollier diagram C9.

Plaatsing

De SCHOOLAIR-B is een kleine luchtbehandelingsunit welke in de borstwering geplaatst dient te worden. Deze kast wordt in het onderwijslokaal tegen de gevel geplaatst waar doorvoeringen zitten naar buiten voor aanzuig en afblaat. Zie afbeelding 11 en 12 om een beeld te krijgen van de luchtbehandelingsunit.

Kenmerken

Opstelling	: Borstwering
Luchtcapaciteit	: 3 x 250 m ³ /h
WTW	: Hoogrendement platenwisselaar
Bypass	: Ja
Ventilator	: 2 x EC-ventilator
Geluidsdempers	: Ja
Verwarmingsbatterij	: Ja
Koelbatterij:	: Ja
Distributie	: Uitblaasroosters aan bovenkant van de unit



Afbeelding 11. SCHOOLAIR-B

Bron: Trox Technik



Afbeelding 12. SCHOOLAIR-B

Bron: Trox Technik

3.3 Ventilatormotoren

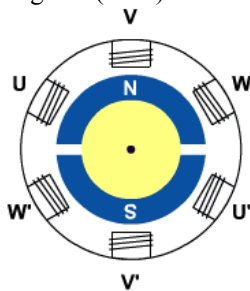
In alle onderzochte luchtbehandelingsunits zitten één of meerdere ventilatoren. De aandrijving van de ventilatoren wordt gedaan door elektramotoren. De elektramotoren van de ventilatoren zijn verantwoordelijk voor het elektra verbruik.

De werking van een elektromotor is gebaseerd op elektromagnetisme. De twee hoofdonderdelen van een elektromotor bestaan uit een stator en een rotor. De rotor draait in de stator. Eén van deze twee onderdelen is uitgevoerd als elektromagneet. Afhankelijk van het type motor kan de rotor uitgevoerd zijn als permanente magneet of een elektromagneet. Door de krachtwerking, welke de magnetische polen op elkaar uitoefenen, gaat de rotor een ronddraaiende beweging maken.

Drie type elektromotoren zijn mogelijk welke bepalend zijn voor het energieverbruik. Dat zijn AC (alternating current of wisselstroom), DC (direct current of gelijkstroom) en EC (electronic commutation of elektronische gecommuteerd). Alle drie de motoren hebben een ander energieverbruik. Hierbij is de keuze van een luchtbehandelingsunit belangrijk om tot een energiebesparende oplossing te komen, omdat de onderzochte luchtbehandelingsunits verschillende type motoren toepassen. Om van de verschillende type elektromotoren een beter beeld te krijgen is de werking van de motoren in onderstaande paragrafen uitgelegd.

3.3.1 AC motor

Een AC motor is een elektromotor die wordt aangedreven door wisselstroom. De AC motor bestaat uit twee basisonderdelen. Een stator en een rotor. De buiten stationair stator hebben windingen die van wisselstroom worden voorzien om een roterend magnetisch veld te creëren. Aan de binnenkant is een rotor aanwezig. Door de fasewisselingen in het net treedt een wisselwerking van magnetische velden op de stator. Zie afbeelding 13 om een beeld te krijgen van de werking. Doordat de spoelen van spanning wisselen (magnetisch veld) maakt de magneet (rotor) een ronddraaiende beweging.

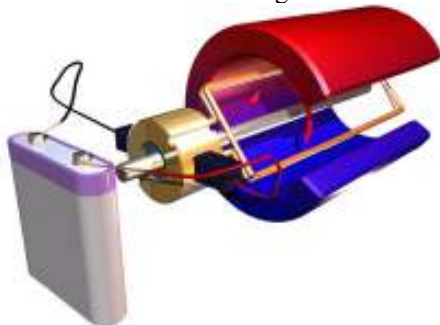


Afbeelding 13. AC motor

Bron: TVVL

3.3.2 DC motor

Bij een gelijkstroommotor bevinden de windingen zich op de rotor, dus aan de binnenzijde. Zie afbeelding 14 om een beeld te krijgen van de werking. Om de rotor-as zit een commutator waarmee de koolborstels contact maken met de wikkelingen in de rotor. Een draaiing wordt mogelijk gemaakt door met borstels de polen van de rotor elke halve omwenteling om te keren. De motor zal verder doordraaien als de richting van de stroom, die er doorheen stroomt wordt omgekeerd.

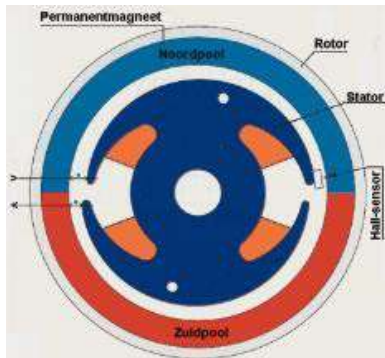


Afbeelding 14. DC motor

Bron: TVVL

3.3.3 EC motor

Een EC motor is in feite een DC motor maar dan met een permanente magneet. Het verschil van de EC motor zit in het toepassen van AC/DC omvormer en het achterwege laten van de koolborstels. Door het gebruik van een Hall-sensor wordt de positie van de magneet gemeten. Als de Hall-sensor een andere pool detecteert wordt de spanning door de spoelen omgedraaid. Hierdoor zal een draaiende beweging ontstaan. Zie afbeelding 15 om een beeld van de werking van de EC motor te krijgen. Door het ontbreken van koolborstels wordt vonkvorming en slijtage voorkomen.



Afbeelding 15. EC motor

Bron: TVVL

3.3.5 Vergelijking ventilatoren

Een AC motor is een motor welke is ontworpen voor intensief gebruik. Een AC motor heeft een driemaal zo langere levensduur dan een standaard DC motor.

Een AC motor is relatief goedkoper dan een DC of een EC motor. De AC motor heeft een hoge aanloopstroom en verbruikt meer energie dan een DC of een EC motor.

Een DC motor is goed toepasbaar in situaties waar snelheid gecontroleerd dient te worden (toerenregeling). DC motoren hebben een stabiele en continue stroom. Een DC motor heeft een lagere opvoerhoogte dan een AC motor. Een DC motor is duurder dan een AC motor en heeft veel onderhoud nodig. De DC motor heeft een hoger rendement dan een AC motor.

De EC motor is dus in feite een borstelloze DC motor. Hierdoor zal minder onderhoud nodig zijn, doordat relatief weinig componenten in de motor aanwezig zijn.

Bij een EC motor is het geïntegreerde elektronische deel altijd exact afgestemd op het motordeel. Een EC motor heeft een lager energieverbruik dan een AC motor. Door het lage energieverbruik wordt een hoger rendement behaald. Tevens wordt door een EC motor minder warmte geproduceerd. De EC motor maakt minder trillingen en daardoor een lager geluidsniveau.

3.3.6 Keuze motor

Bij de EC motor wordt een hoger rendement behaald dan bij de AC en DC motor. De onderhoudskosten en de energiekosten zijn ook lager. De EC motor is de betere motor welke het best toepasbaar is voor een luchtbehandelingsunit in een onderwijslokaal. De EC motor heeft namelijk een laag geluidsniveau en haalt een hoog rendement bij een variabel debiet.

3.4 Kostenprijs per luchtbehandelingsunit

Het kiezen van de juiste luchtbehandelingsunit voor een onderwijslokaal vergt meer informatie dan enkel de aankoopprijs. Voor de onderzochte luchtbehandelingsunits dienen ook bouwkundige voorzieningen getroffen te worden. Dit hoort bij de investering die men bij het kiezen van een luchtbehandelingsunit dient mee te nemen. Ook bepaalde onderdelen, welke wel gewenst zijn, maar niet standaard bij de luchtbehandelingsunit worden bijgeleverd, zullen bij de investering dienen te worden meegenomen.

Naast de investering zijn de exploitatiekosten per luchtbehandelingsunit ook verschillend. Met de exploitatiekosten wordt bedoeld: het onderhoud, het gasverbruik, het elektraverbruik en vervangen van luchtfilters.

3.4.1 Bestaande bouw – natuurlijke ventilatie

Bij bestaande scholen is meestal sprake van natuurlijke ventilatie en geen mechanische ventilatie. Dit komt omdat deze scholen niet gerenoveerd zijn of hiervoor geen plaats is. In zo'n situatie is er wel natuurlijke ventilatie. De hoeveelheid benodigde natuurlijke ventilatie werd vroeger bepaald met behulp van Model bouwverordening in combinatie met de NEN 1089 "Ventilatie van schoolgebouwen". Deze normen worden hedendaags niet meer gebruikt. Wel zijn ze te gebruiken om te achterhalen hoe men vroeger een onderwijsgebouw ventileerde. Volgens de NEN 1089 dient men 5,5 m³/h per leerling toe te voeren aan een onderwijslokaal. Bij een standaard onderwijslokaal met 25 personen aanwezig zal men dus 495 m³/h dienen te ventileren. Zoals in principeschema B9 in bijlage B staat zal de toevoer- en retourlucht via te openen ramen het onderwijslokaal ventileren met de buitenlucht. De radiator zal de buitenlucht, indien deze te koud is, opwarmen naar een behaaglijke temperatuur van 20°C.

Het gasverbruik heeft dus veel te maken met de koude luchttoevoer van buiten. De koude luchttoevoer zal namelijk tot een behaaglijke temperatuur worden verwarmd. Volgens de NEN 1089 zal dus 495 m³/h worden toegevoerd en verwarmd.

Bestaande bouw – natuurlijke ventilatie	Prijs in euro [€]
Investering	n.v.t.
Gasverbruik per jaar	263,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	n.v.t.
Afschrijving	n.v.t.

Tabel 8. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

Bron: Stephan Smits

Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.

3.4.2 Bestaande bouw – renovatie

Als men een bestaand schoolgebouw gaat renoveren dient men rekening te houden met het bouwbesluit. In het bouwbesluit staat dat als men gaat renoveren men dient mechanisch te ventileren. Zie principeschema B10 in bijlage B om een beeld hiervan te krijgen. Hier wordt gebruik gemaakt van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. De natuurlijke toevoer zal via de gevel het onderwijslokaal binnendringen via roosters in de muur of het kozijn. Volgens het bouwbesluit zal men minimaal 1,1 dm³/s per m² dienen te ventileren. Dit komt neer op 198 m³/h. De radiator zal de buitenlucht, indien deze te koud is, opwarmen naar een behaaglijke temperatuur van 20°C.

Het gasverbruik heeft dus veel te maken met de luchttoevoer van buiten en hoe deze wordt geleverd. Volgens het bouwbesluit zal minimaal 195 m³/h worden toegevoerd en verwarmd.

Bestaande bouw – renovatie	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Ventilator:	250,00
Kanalen:	250,00
Dempers:	120,00
Plaatsen en in bedrijf stellen:	340,00
Toebehoren:	450,00
Investering, bouwkundig	
Luchtroosters in wand	275,00
Filterset:	25,00
Gasverbruik per jaar	104,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	14,40
Onderhoud per jaar	180,00
Afschrijving	20 jaar

Tabel 9. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

3.4.3 Nieuwbouw – natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

Bij nieuwbouw kan men ook kiezen om natuurlijk toe te voeren en mechanisch af te voeren. Het nadeel hiervan is wel dat de radiatoren vrij groot dienen te zijn. Dit omdat de koude buitenlucht dan dient te worden opgewarmd door de radiatoren. De natuurlijke toevoer zal middels luchtroosters in de gevel of kozijn het onderwijslokaal ventileren. Het onderwijslokaal zal volgens het bouwbesluit geventileerd worden. Dit komt neer op 3,5 dm³/s per m², oftewel 613 m³/h. dit is het minimale wat men volgens het bouwbesluit dient te ventileren aan een standaard onderwijslokaal (vloeroppervlak 50 m²). Zie principeschema B11 in bijlage B om een beeld te krijgen van het systeem. De radiatoren in het onderwijslokaal zal de buitenlucht, indien deze te koud is, opwarmen naar een behaaglijke temperatuur van 20°C.

Het gasverbruik heeft dus veel te maken met de luchttoevoer van buiten en hoe deze wordt geleverd. Volgens het bouwbesluit zal minimaal 613 m³/h worden toegevoerd en verwarmd.

Nieuwbouw – natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Ventilator:	800,00
Kanalen:	350,00
Dempers:	150,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	380,00
Toebehoren:	500,00
Investering, bouwkundig	
Luchtroosters in wand	350,00
Filterset	25,00
Gasverbruik per jaar	326,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	48,00
Onderhoud per jaar	220,00
Afschrijving	20 jaar

Tabel 10. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

3.4.4 Nieuwbouw – gebalanceerde ventilatie

Een betere oplossing voor nieuwbouw is gebalanceerde ventilatie met een naverwarmingsbatterij. Dit houdt in dat de toevoerlucht wordt opgewarmd naar een behaaglijke temperatuur. Bij dit systeem hoeft men kleinere radiatoren te plaatsen in het onderwijslokaal. De lucht kan op verschillende manieren het onderwijslokaal worden binnengebracht, namelijk: plafondroosters, wandroosters en textiele slangen. Het onderwijslokaal zal

volgens het bouwbesluit geventileerd moeten worden. Dit komt neer op 3,5 dm³/s per m², oftewel 613 m³/h. dit is het minimale wat men volgens het bouwbesluit dient te ventileren aan een standaard onderwijslokaal (vloeroppervlak 50 m²). Zie prinsipschema B12 om een beeld te krijgen van het systeem.

Met het gebruik van een naverwarmingsbatterij wordt bij een buitentemperatuur van -10°C een inblaastemperatuur van 19°C gecreëerd. Dit is een goede inblaastemperatuur.

Nieuwbouw – gebalanceerde ventilatie	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Luchtbehandelingsunit:	1.600,00
Kanalen:	600,00
Dempers:	400,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	420,00
Toebehoren:	1.100,00
Investering, bouwkundig	
Dakdoorvoer	250,00
Filterset	45,00
Gasverbruik per jaar	430,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	58,00
Onderhoud per jaar	330,00
Afschrijving	15 jaar

Tabel 11. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

Bron: Stephan Smits

Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.

3.4.5 Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning

De beste oplossing voor nieuwbouw is gebalanceerde ventilatie met een naverwarmingsbatterij. Dit houdt in dat de toevoerlucht wordt opgewarmd naar een behaaglijke temperatuur. Bij dit systeem hoeft men kleinere radiatoren te plaatsen in het onderwijslokaal. Bij een aantal van de onderzochte luchtbehandelingsunits hebben een hoog rendement platenwisselaar. Dit wil zeggen dat door de hoog rendement platenwisselaar zo'n hoog rendement heeft dat er altijd een acceptabele inblaastemperatuur wordt gecreëerd. Hierdoor zal er nagenoeg geen gasverbruik zijn. De naverwarmer dient dan ook enkel voor als de buitentemperatuur ver onder de 0 °C bevindt. Dan zal de hoog rendement platenwisselaar dichtvriezen en zal de buitenlucht middels de bypass over de hoog rendement platenwisselaar gestuurd worden. De naverwarmingsbatterij dient dan de koude buitenlucht te verwarmen naar een acceptabele inblaastemperatuur totdat de hoog rendement platenwisselaar is ontdooit. De lucht kan op verschillende manieren het onderwijslokaal worden binnengebracht, namelijk: plafondroosters, wandroosters, textiele slangen, et cetera. Het onderwijslokaal zal volgens het bouwbesluit geventileerd worden. Dit komt neer op 3,5 dm³/s per m², oftewel 613 m³/h. dit is het minimale wat men volgens het bouwbesluit dient te ventileren aan een standaard onderwijslokaal (vloeroppervlak 50 m²).

Voor de kostprijs van de onderzochte luchtbehandelingsunits zie bijlage H.

3.5 Vergelijking onderzochte systemen

Voor een totaaloverzicht van de onderzochte systemen staan in tabel 12 de voor- en nadelen van ieder systeem beschreven. Hierbij is te zien dat verschillende punten van belang zijn voor het kiezen van de juiste unit. Dit heeft in veel gevallen te maken met de investering, exploitatiekosten, geluidsdruk niveau en plaatsing.

	Voordelen	Nadelen	Overig
Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit	- Laag geluidsdrukkniveau - CO₂ regelbaar - Warmteterugwinning - EC ventilatoren	- Hoge investering - Hoge exploitatiekosten	Stevige vloerconstructie nodig
Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR	- Lage investering - CO₂ regelbaar - EC ventilatoren - Warmteterugwinning	- Hoog geluidsdrukkniveau - Dient een bouwkundige kast worden gemaakt - Unit in onderwijslokaal	Plaatsing in bouwkundige kast of berging
Systeem van GEA Happel Nederland – Campos	- Laag geluidsdrukkniveau - CO₂ regelbaar - EC ventilatoren - Warmteterugwinning	- Hoge investering - Hoge exploitatiekosten	Stevige vloerconstructie nodig
Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY	- CO₂ regelbaar - Minimale wijzigingen aan onderwijslokaal - Lage investering - Warmteterugwinning	- Hoog geluidsdrukkniveau - Unit in onderwijslokaal - Slechte luchtverdeling met nozzle's - Kleine luchthoeveelheid	Maximaal 600 m ³ /h
Systeem van ITHO – DCW school WTW	- Lage investeringskosten - CO₂ regelbaar - Warmteterugwinning - EC ventilatoren - Weinig ruimtebeslag - Lage exploitatiekosten	- Minimale luchthoeveelheid - Unit in onderwijslokaal - Naverwarmingsbatterij nodig	Maximaal 725 m ³ /h
Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) – schoolventilatie	- CO₂ regelbaar - Verwarming- en koelbatterij standaard - Koppeling zonwering - Koppeling daglichtregeling - Één ventilator aanwezig	- Hoge investeringskosten - Verlaagd plafond nodig - Hoog geluidsdrukkniveau	Momenten van recirculatie en laag rendement
Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B	- CO₂ regelbaar - Warmteterugwinning - EC ventilatoren - Verwerkbaar in borstwering	- Hoge investeringskosten - Hoog geluidsdrukkniveau - Meerdere units nodig	Drie luchtbehandelingsunits per onderwijslokaal nodig

Tabel 12. Voor- en nadelen onderzochte luchtbehandelingssystemen

Bron: Stephan Smits

In tabel 13 staan de verschillende investerings- en exploitatiekosten per onderwijslokaal van de verschillende onderzochte systemen. In de investeringsprijs zijn meegenomen;

- de investeringskosten van de luchtbehandelingsunit;
- luchtkanalen;
- luchtroosters;
- luchtdempers;
- overige toebehoren luchtbehandelingsunit (onder andere een CO₂-sensor, een naverwarmingsbatterij en standenschakelaar);
- en bouwkundige voorzieningen.

Wat betreft de jaarlijkse exploitatiekosten zijn de volgende zaken per systeem meegenomen;

- Gasverbruik;
- Elektraverbruik;
- vervanging vervuilde filter;
- en onderhoudskosten (onder andere reiniging).

	Investeringskosten per onderwijslokaal [€]	Meerprijs ten opzichte van de gebalanceerde ventilatie [€]	Exploitatiekosten per onderwijslokaal [€]	Vershil exploitatiekosten per onderwijslokaal [€]	Terugverdientijd [jaar]
Nieuwbouw – gebalanceerde ventilatie	4.370,00	-	870,00		-
Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit	8.938,00	4.568,00	505,00	-365,00	12,6
Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR	7.195,00	2.825,00	420,00	-450,00	6,3
Systeem van GEA Happel Nederland – Campos	9.035,00	4.665,00	505,00	-365,00	12,8
Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY	5.481,00	1.111,00	480,00	-390,00	2,9
Systeem van ITHO – DCW school WTW	6.823,00	2.453,00	335,00	-535,00	4,6
Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) – schoolventilatie	9.150,00	4.780,00	495,00	-375,00	12,7
Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B	14.808,00	10.438,00	725,00	-145,00	71,7

Tabel 13. Kosten luchtbehandelingssystemen per onderwijslokaal

Bron: Stephan Smits

4 Berekeningen

voor een beter inzicht in de verschillende onderwijslokalen te krijgen, zijn hiervan berekeningen gemaakt. Dit betreft een warmteverliesberekening en een temperatuuroverschrijdingsberekening. Deze berekeningen zijn gemaakt met een rekenprogramma van Vabi. Vabi is een onafhankelijk softwarebedrijf dat rekensoftware maakt voor de installatietechniek. Met behulp van deze berekeningen wordt een beter inzicht gegeven omtrent de verschillende onderwijslokalen. Hiermee wordt duidelijk hoe het binnenklimaat in het onderwijslokaal tijdens bezetting zich gedraagt.

Voor de verschillende onderzochte systemen zijn ook berekeningen gemaakt. Aan de hand van de berekeningen wordt het duidelijk welk systeem het beste is. Dit betekent echter niet dat het beste systeem overal toepasbaar is. Men dient ook te letten op het systeem :überhaupt wel kan worden geplaatst. Ook dient men rekening te houden met de investering en de exploitatiekosten. Aan de terugverdientijd van de onderzochte systemen ten opzichte van het basissysteem volgt een overzicht of een systeem wel of niet rendabel is.

4.1 Warmteverliesberekening

Met het rekenprogramma van Vabi kan men een warmteverliesberekening maken. Hiermee kan worden bepaald hoe groot het verwarmingsvermogen in het onderwijslokaal dient te zijn om deze op zijn ideale temperatuur te houden in koude tijden. Als resultaat krijgt men het transmissie-, infiltratieverlies en opwarmtoeslag. Deze berekeningen zijn gemaakt voor de onderwijslokalen waar ook de metingen zijn uitgevoerd. Hiermee kan men de verschillende onderwijslokalen met elkaar vergelijken. Hiervoor dienen wel een aantal uitgangspunten worden bepaald. Door zoveel mogelijk dezelfde uitgangspunten in te voeren in het programma kan een redelijk vergelijk gemaakt worden tussen de verschillende onderwijslokalen.

Uitgangspunten warmteverliesberekening

Om de warmteverliesberekening te maken zijn enkele uitgangspunten bepaald om de berekening tot een goed resultaat te laten komen. Deze uitgangspunten staan hieronder beschreven.

Bestaande Bouw

Algemeen

Gebouw van voor 1992

Soort gebouw	: Utiliteitsgebouw (te openen ramen)
Buitentemperatuur	: -10°C
Opwarmtoeslag	: 5,0 W/m ²

Ruimtegegevens

Gebouwfunctie	: Onderwijsfunctie
Bezettingsgraadklasse	: B2
Functie ruimte	: Andere ruimte
Type	: Verblijfsruimte
Temperatuur	: 20°C
Bedrijfswijze	: Ononderbroken en nachtverlaging
Ventilatiesysteem	: Natuurlijke toe- en afvoer (systeem A)
Wijze van regelen	: Regeling per vertrek
Soort verwarming	: Radiatoren/convectoren HT

Nieuwbouw

Algemeen

Berekening	: warmteverlies volgens ISSO 51, 53 ,57
Soort gebouw	: Utiliteitsgebouw
Buitentemperatuur	: -10°C
Opwarmtoeslag	: 5,0 W/m ²
Gebouw na 1992 en voldoet aan het bouwbesluit	
Qv,10	: 0,200 dm ³ /s·(m ² /Ag)

Ruimtegegevens

Gebouwfunctie	: Onderwijsfunctie
Bezettingsgraadklasse	: B2

Functie ruimte		: Andere ruimte
Type		: Verblijfsruimte
Bedrijfswijze		: Ononderbroken en nachtverlaging
Wijze van regelen		: Kamerthermostaat
Temperatuur		: 20°C
Ventilatiesysteem		: Mechanische toe- en afvoer (systeem D)
Opwarming ventilator		: 1 K
Stooklijn	T_{buiten}	: -10 °C
	T_{inblaas}	: 19 °C
Soort verwarming		: Radiatoren/convectoren HT
Temperatuur		: 20°C
Mechanische ventilatie (toevoer)		: 0.0035 m³/s/(m²·vloer)
Luchtuitwisseling (toevoer)		: 0.0035 m³/s/(m²·vloer)
Aantal personen		: 25

4.1.1 Resultaat warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw

Bruto vloeroppervlakte onderwijslokaal	: 56 m²
Bruto inhoud onderwijslokaal	: 224 m³
Rc-waarde buitenwand	: 1,25 m²·K/W
Rc-waarde tussenwand	: 0,07 m²·K/W
Rc-waarde gangwand	: 0,07 m²·K/W
Rc-waarde vloer	: 0,30 m²·K/W
Rc-waarde plafond	: 0,47 m²·K/W
U-waarde beglazing	: 4,20 W/m²·K

Zie tabel 14 voor het totaaloverzicht van de warmteverliesberekening volgens ISSO 53.

Temperatuur [°C]	Transmissieverlies [Watt]	Ventilatieverlies [Watt]	Opwarmtoeslag [Watt]	Totaal [Watt]	Kengetal	
					W/m²	W/m³
20.0	5.516	3.733	991	10.240	188	54

Tabel 14. Totaaloverzicht warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw

Bron: Stephan Smits

Volledige uitvoer zie bijlage I.

4.1.2 Resultaat warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw

Bruto vloeroppervlakte onderwijslokaal	: 53,6 m²
Bruto inhoud onderwijslokaal	: 144,7 m³
Rc-waarde buitenwand	: 1,59 m²·K/W
Rc-waarde tussenwand	: 0,44 m²·K/W
Rc-waarde gangwand	: 0,01 m²·K/W
Rc-waarde tussenvloer	: 0,74 m²·K/W
U-waarde beglazing	: 1,52 W/m²·K

Zie tabel 15 voor het totaaloverzicht van de warmteverliesberekening volgens ISSO 53.

Temperatuur [°C]	Transmissieverlies [Watt]	Infiltratieverlies [Watt]	Opwarmtoeslag [Watt]	Totaal [Watt]	Kengetal	
					W/m²	W/m³
20.0	1.374	476	824	2.674	51	21

Tabel 15. Totaaloverzicht warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw

Bron: Stephan Smits

Volledige uitvoer zie bijlage I.

4.1.3 Resultaat warmteverliesberekening basisonderwijs – bestaande bouw

Bruto vloeroppervlakte onderwijslokaal	: 67,0 m ²
Bruto inhoud onderwijslokaal	: 187,6 m ³
Rc-waarde buitenwand	: 1,21 m ² ·K/W
Rc-waarde tussenwand	: 0,22 m ² ·K/W
Rc-waarde vloer	: 1,41 m ² ·K/W
Rc-waarde plafond	: 1,20 m ² ·K/W
U-waarde beglazing	: 4,40 W/m ² ·K

Zie tabel 16 voor het totaaloverzicht van de warmteverliesberekening volgens ISSO 53.

Temperatuur [°C]	Transmissieverlies [Watt]	Infiltratieverlies [Watt]	Opwarmtoeslag [Watt]	Totaal [Watt]	Kengetal	
					W/m ²	W/m ³
20.0	6.304	6.590	947	13.841	212	83

Tabel 16. Totaaloverzicht warmteverliesberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw

Bron: Stephan Smits

Volledige uitvoer zie bijlage I.

4.2 Temperatuuroverschrijdingsberekening

Met het rekenprogramma van Vabi kan men ook een temperatuuroverschrijdingsberekening maken. Hiermee wordt inzicht gegeven in de temperaturen welke in het onderwijslokaal heersen door het jaar heen (wanneer deze in gebruik is). De temperatuuroverschrijdingsberekening kan men gebruiken om te zien of het opgesteld koelvermogen voldoende is om aan de criteria te voldoen van de overheid. Het resultaat van de berekening wordt weergegeven in gewogen temperatuuroverschrijding. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar het aantal uren dat de binnentemperatuur boven een bepaalde waarde uitkomt, maar wordt ook rekening gehouden met de hoogte van die temperatuur. Wanneer het in een vertrek bijvoorbeeld in een tijdsbestek van 2 uur een temperatuur van 30 °C heerst, dan weegt dit zwaarder dan wanneer het in hetzelfde vertrek gedurende 2 uur een temperatuur van 28 °C heerst.

Voor de gebouwfuncties onderwijsgebouw, winkelgebouw en gezondheidszorggebouw klinisch vindt de beoordeling van het binnenklimaat alleen plaats op basis van het aantal uren dat de binnenluchttemperatuur boven 25 °C en 28 °C uit komt, in relatie tot de bedrijfsperiode.

Grenswaarde volgens de ISSO 74 (2004) tussen de verschillende klimaatklasse:

- Klasse A: meer dan 90% tevredenheid (voor hoge verwachtingen).
- Klasse B: meer dan 85% tevredenheid (standaard voor nieuwe gebouwen).
- Klasse C: meer dan 65% tevredenheid (standaard voor renovatie gebouwen).

Rgd-richtlijn, onderwijsgebouwen, nieuwbouw

Tijdens de gebruiksuren in verblijfsruimten met een onderwijsfunctie dient een temperatuur behaald te worden waarbij de operationele temperatuur bepaald volgens de NEN-ISO 7730 Klimaatomstandigheden - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid:

- Niet meer dan 2% van de gebruikstijd op jaarbasis onder de 18°C komt.
- Niet meer dan 10% van de gebruikstijd op jaarbasis onder de 20°C komt.
- Niet meer dan 10% van de gebruikstijd op jaarbasis boven de 25,5°C komt.
- Niet meer dan 2% van de gebruikstijd op jaarbasis boven de 28°C komt.

Uitgangspunten temperatuuroverschrijdingsberekening

Om de temperatuuroverschrijdingsberekening te maken zijn enkele uitgangspunten bepaald om de berekening tot een goed resultaat te brengen. Door veelal dezelfde uitgangspunten kan een vergelijking worden gemaakt van de verschillende onderwijslokalen waar tevens de metingen hebben plaatsgevonden. De uitgangspunten staan hieronder beschreven.

Algemene gegevens

Overschrijdingsuren tellen van	:	Maandag	07:00 – 17:00
		Dinsdag	07:00 – 17:00
		Woensdag	07:00 – 17:00
		Donderdag	07:00 – 17:00
		Vrijdag	07:00 – 17:00

Overschrijdingsuren tellen bij : 25,5° en 28°
 Jaarindeling volgens : schoolvakanties
 Startdatum : 01-01-1995
 Aantal rekendagen : 365

Gebouw :
 Soort gebouw : Utiliteit
 Gebruikstijden : Basisonderwijs
 Maandag 08:00 – 12:00 en 13:00 - 17:00
 Dinsdag 08:00 – 12:00 en 13:00 - 17:00
 Woensdag 08:00 – 13:00
 Donderdag 08:00 – 12:00 en 13:00 - 17:00
 Vrijdag 08:00 – 12:00 en 13:00 - 17:00

Voortgezet onderwijs
 Maandag 08:00 – 17:00
 Dinsdag 08:00 – 15:00
 Woensdag 08:00 – 17:00
 Donderdag 08:00 – 17:00
 Vrijdag 08:00 – 15:00

Zonwering : ja

Zone
 Soort functie : Onderwijs functie
 Bezettingsgraad : B2
 Bedrijfstijd : Maandag 06:00 – 17:00
 Dinsdag 06:00 – 17:00
 Woensdag 06:00 – 17:00
 Donderdag 06:00 – 17:00
 Vrijdag 06:00 – 17:00
 Overige tijd in standby

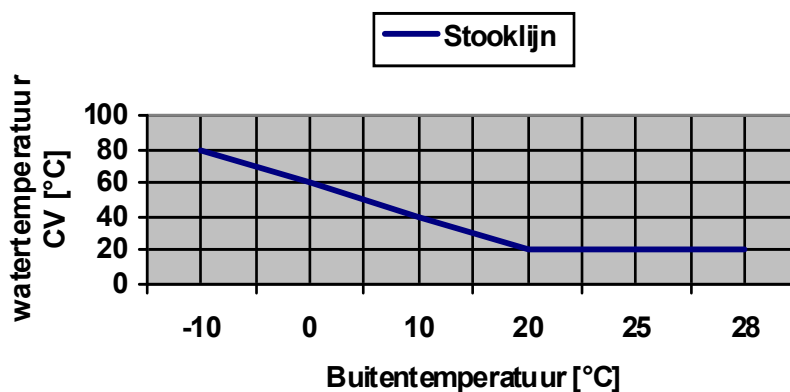
Stooklijn

Buitentemperatuur [°C]	Watertemperatuur [°C]
-10	80
0	60
10	40
20	20
25	20
28	20

Tabel 16 Gegevens stooklijn

Bron: Stephan Smits

Stooklijn



Grafiek 3 Stooklijn
 Bron: Stephan Smits

Onderwijslokaal met luchtbehandeling

Soort systeem : mechanische toevoer en retour
 Opwarming ventilator : 1 Kelvin
 Luchthoeveelheid : 600 m³/h

Onderwijslokaal zonder luchtbehandeling

Per 1m² te openen raam 720 m³/h verse toevoerlucht

Formule 2:

$$\frac{\text{m}^3/\text{h}}{3600} / 1\text{m}^2 = 0.2 \text{ m/s}$$

Interne warmtelast

Personen : 25 personen van elk 130 watt warmteproductie

Apparatuur

Basisonderwijs : PC – 50 watt (2 stuks)
 17'' beeldscherm – 90 watt
 21'' beeldscherm – 110 watt
 Stereoset – 15 watt

Voortgezet onderwijs : PC – 50 watt
 17'' beeldscherm – 90 watt
 21'' beeldscherm – 110 watt
 Stereoset – 15 watt

4.2.1 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – bestaande bouw

Overschrijding bij 25,5 °C : 219 uur
 Overschrijding bij 28,0 °C : 62 uur
 Maximumtemperatuur : 30,4 °C

Gewogen onderschrijding : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 359 uren

Volledige uitvoer zie bijlage J.

4.2.2 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw

Overschrijding bij 25,5 °C : 350 uur
 Overschrijding bij 28,0 °C : 61 uur
 Maximumtemperatuur : 30,0 °C

Gewogen onderschrijding : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 559 uren

Volledige uitvoer zie bijlage J.

4.2.2 Resultaat temperatuuroverschrijdingsberekening voortgezet onderwijs – nieuwbouw

Overschrijding bij 25,5 °C : 341 uur
 Overschrijding bij 28,0 °C : 132 uur
 Maximumtemperatuur : 33,6 °C

Gewogen onderschrijding : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 935 uren

Volledige uitvoer zie bijlage J.

4.3 Mollier diagram

Het behandelen van de lucht kan als proces worden aangegeven in het Mollier diagram waarbij de verandering van eigenschappen en daarbij de behorende energiestroom zichtbaar en afleesbaar wordt. Per systeem zijn een aantal punten welke standaard zijn. Dit is de ruimteconditie of de retourlucht, buitenconditie, afblaaslucht en inblaasconditie. Hierbij is rekening gehouden met de temperatuur en de relatieve vochtigheid. Bij bijna alle systemen wordt gebruik gemaakt van een platenwisselaar. Hierbij vindt temperatuuruitwisseling plaats maar geen vochtuitwisseling. Hierdoor wordt in het Mollier diagram geen mengconditie gevormd, maar lopen de proceslijnen gescheiden van elkaar.

	T [°C]	RV [%]
Buiten	-10	60
Ruimte	22	45
Inblaas	19	-

Tabel 17. Uitgangspunten luchtcondities

Bron: Stephan Smits

De inblaastemperatuur staat hierboven zonder relatieve vochtigheid. Dit komt omdat geen vochtuitwisseling plaats vindt bij platenwisselaars. Hierdoor zal dit zeer droge lucht zijn met een relatieve vochtigheid van onder de 10%. Dit is niet een ideaal vochtgehalte om in te blazen maar dit zal zich vermengen met het vochtgehalte wat zich al in het onderwijslokaal bevindt. Als men wel een vochtigere lucht wil dient men dit te verwezenlijken met een bevochtiger wat een hoge investering vereist en verbonden is aan hoge exploitatiekosten. Om de onderzochte luchtbehandelingsunits betaalbaar te houden voor het onderwijs wordt een bevochtiger niet toegepast in de luchtbehandelingsunits.

Om de temperatuur na de warmteterugwinsectie te berekenen dient het rendement bekend te zijn. Als dit bekend is kan men de eindtemperatuur berekenen met formule 3. De temperatuur die wordt afgegeven aan de buitenlucht zal worden onttrokken aan de retourlucht.

Formule 3:

$$T_{\text{eind}} = (T_{\text{ruimte}} - T_{\text{buiten}}) \cdot \rho_{\text{wtw}} + T_{\text{buiten}}$$

T_{eind}	=	temperatuur na warmteterugwinsectie	[°C]
T_{ruimte}	=	ruimtetemperatuur	[°C]
T_{buiten}	=	buitentemperatuur	[°C]
ρ_{wtw}	=	rendement warmteterugwinning	[-]

Formule 4 is voor het verwarmen van de lucht:

Formule 4:

$$P = q_m \cdot C \cdot \Delta T$$

P	=	vermogen	[W]
q_m	=	massastroom	[kg/s]
C	=	soortelijke warmte	[J/kg·K]
ΔT	=	temperatuurverschil	[K]

Met bovenstaande formules kan nu in het Mollier diagram het verloop van de luchtcondities tekenen. Dit is met het programma van Vabi digitaal ingetekend.

4.4 Elektraverbruik

Voor het elektrisch verbruik zijn het aantal draaiuren per jaar bepaald, hierbij rekening houdend met de schoolvakanties. Tijdens lestijden zal de ventilatie op vol vermogen draaien. Buiten de gebruiksuren draait de ventilatie niet op vol vermogen, zodat toch nog enige spoeling is in het onderwijslokaal, tevens om rekening te houden met nachtventilatie waarmee de ventilatie in vol vermogen zal gaan. Om dit te compenseren is gerekend met een derde van het vermogen door het hele jaar heen om de kosten voor de nachtventilatie mee te nemen. De

nachtventilatie is bij alle van de onderzochte luchtbehandelingsunit meegenomen. In de vakanties staat de ventilatie uit. Deze tijden samen met het asvermogen van de ventilator is het elektriciteitsvermogen berekend van het gehele jaar. Met dit elektriciteitsvermogen is dit omgerekend naar euro's.

Draaiuren ventilatoren

Aantal weken in bedrijf: 40 weken

Aantal dagen per week: 5 dagen

Aantal uren per dag vollast: 8 uur

Aantal uren per dag deellast: 16 uur

$P_{a \text{ toevoerventilator}} = x \text{ W}$

$P_{a \text{ retourventilator}} = x \text{ W}$

Formule 5:

$$P_{el} = \frac{P_a}{\eta_{\text{ventilator}}}$$

P_{el} = opgenomen vermogen [W]

P_a = asvermogen [W]

$\eta_{\text{ventilator}}$ = rendement ventilator [-]

$\eta_{\text{ac motor}} = 0,80\%$

$\eta_{\text{dc motor}} = 0,90\%$

$\eta_{\text{ec motor}} = 0,95\%$

Formule 6:

$$Q_{\text{totaal}} = \Sigma P_{el} \cdot t \cdot 3600 \text{ sec}$$

Q_{totaal} = warmte-energie [J]

ΣP_{el} = som van opgenomen vermogen [W]

t = uur per jaar [h]

Formule 7:

$$E = \frac{Q_{\text{totaal}}}{3600 \text{ sec}}$$

E = energie [kWh]

Prijs elektra = 0,12 €/kWh

Formule 8:

$$\text{€} = E \cdot \text{elektraprijs}$$

4.5 Gasverbruik

Voor het gasverbruik zijn de temperatuur gegevens van het jaar 2009 gebruikt. Het jaar 2009 is gekozen om een zo recent mogelijke berekening te maken. De temperatuurgegevens komen van het KNMI. Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut is hét nationale instituut voor weer, klimaat en seismologie (aardbevingen). In de gegevens van het KNMI staat per uur de buitentemperatuur door het jaar 2009 heen. Hiervan zijn enkel de uren van zeven uur 's ochtends tot vijf uur 's avonds genomen. Aangezien dit de uren zijn dat de luchtbehandelinginstallatie in werking zou treden om het gebouw te verwarmen. Met de buitentemperatuur is berekend wat voor temperatuur het na de warmteterugwinsectie zou zijn. Indien dit lager is dan de inblaasttemperatuur van 19°C dient de naverwarmingsbatterij dit nog te verwarmen. Het stuk wat de naverwarmingsbatterij moest bijstoken is omgerekend naar het gasverbruik van de ketel. Het gasverbruik kan weer worden omgerekend naar euro's. Zie onderstaande formules voor de exacte rekenmethode.

Formule 9:

$$Q = P_{\text{totaal}} \cdot 3600$$

Q	=	warmte-energie	[J]
P _{totaal}	=	totaal vermogen	[W]

Formule 10:

$$V = \frac{Q}{H_s}$$

V	=	volume	[m ³]
H _s	=	calorische bovenwaarde	[kJ/m ³]

Prijs gas = 0,45 €/m³

Formule 11:

$$€ = V \cdot \text{gasprijs}$$

4.6 Terugverdientijd

De terugverdientijd is de verhouding tussen de lage investering en de hogere investering ten gevolge van de jaarlijkse exploitatiekosten van beide investeringen.

Om een terugverdientijd te berekenen van de verschillende onderzochte systemen dient uitgegaan te worden van een basissysteem. Dit basissysteem heeft in de meeste gevallen een lagere investering dan de onderzochte systemen. Het basissysteem is een ventilatieprincipe met een toevoerventilator, retourventilator, vier geluiddempers en een verwarmingsbatterij. Aangezien hier geen warmteterugwinsectie wordt toegepast is dit principe een simpel systeem met een lage investering. Het nadeel hiervan is dat het gasverbruik vele malen meer is dan een systeem met een warmteterugwinsectie. De verwarmingsbatterij dient de koude lucht naar een behaaglijke inblaastemperatuur te brengen. Bij het basissysteem zijn de kosten per jaar aanzienlijk hoger dan bij een systeem met een warmteterugwinsectie. Om de terugverdientijd te berekenen dient men het verschil van de lage en hoge investering te delen door de verbruikskosten van beide systemen per jaar.

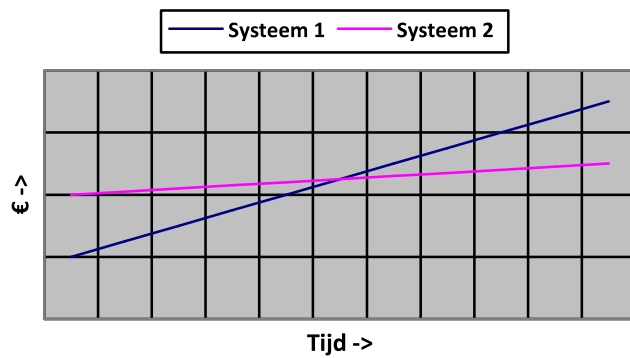
Voorbeeld berekening

Investering 1 (goedkoop)	Investering 2 (duur)
Verbruik 1 (Veel)	Verbruik 2 (goedkoop)

Formule 12:

$$\frac{(\text{investering2} - \text{investering1})}{(\text{verbruik1} - \text{verbruik2})} = \text{terugverdientijd}$$

In grafiek 4 is te zien dat de duurdere investering met het laag verbruik zichzelf na verloop van tijd heeft terugverdiend. Aan de terugverdientijd is dus in een vlugge oogopslag te zien of een duurder systeem naarmate de draaiuren rendabel is ten opzichte van een goedkoop systeem.



Grafiek 4. Voorbeeld terugverdientijd van twee systemen

Bron: *Stephan Smits*

Als men dus de keuze dient te maken uit een aantal systemen met een verschillende investering is een systeem met een hogere investering wellicht te overwegen. Met de terugverdientijd kan men zien of de meerinvestering zich in een korte of lange periode heeft terugverdiend. Het is in sommige gevallen slimmer om voor een hogere investering te kiezen, omdat naarmate de jaren verstrijken het systeem minder kostbaar is.

5 Vergelijking gemeten onderwijslokalen

In tabel 18 staan de resultaten van de berekeningen van de verschillende onderwijslokalen waar een meting heeft plaatsgevonden. Kijkend naar de transmissieberekening dan bestaat een groot verschil tussen de tweede meting en de eerste en derde meting. Dit komt doordat de tweede meting een nieuwbouw is. dit is dus duidelijk te zien in de berekening. Het verschil tussen de eerste en derde meting zit in de bouwkundige vormgeving van de onderwijslokalen. Het onderwijslokaal van de eerste meting is op de begane grond met één buitengevel. Boven het onderwijslokaal van de eerste meting bevindt zich ook een onderwijslokaal van dezelfde bezetting. Het onderwijslokaal van de derde meting is ook op de begane grond maar heeft een plat dak en twee buitengevels. Dit komt dus neer dat het onderwijslokaal van de eerste meting qua transmissie het slechtste van de drie onderwijslokalen is.

Als men naar de temperatuuroverschrijdingsberekening kijkt, valt het op dat hier ook verschillen aanwezig zijn. Het onderwijslokaal van de eerste en tweede meting zijn bijna aan elkaar gelijk. Alleen de overschrijdingsuren bij 25,5 graden is bij het onderwijslokaal van de eerste meting aanzienlijk hoger. Dus is het gemiddeld warmer dan in het onderwijslokaal van de tweede meting. Hieraan is goed te zien dat bij het onderwijs van de tweede meting balansventilatie aanwezig is, echter is de maximumtemperatuur aan elkaar gelijk. Dit is zeer opmerkelijk aangezien het onderwijslokaal van de eerste meting een bestaande bouw is en het onderwijslokaal van de tweede meting een nieuwbouw. Dat het in het onderwijslokaal van de derde meting een nog hoger maximumtemperatuur van 33,6°C heeft is niet zo vreemd. Dit komt doordat het een bestaande bouw is met veel buitengevels. Vooral het platdak zal zeer veel warmte doorlaten.

	Soort onderwijs	Soort gebouw	Vloeroppervlak [m ²]	Type ventilatie	Transmissie berekening [kW]	Temperatuuroverschrijdingsberekening		
						Overschrijdingen in uren bij		Maximumtemperatuur [°C]
						25,5°C	28°C	
Onderwijslokaal eerste meting	Voortgezet onderwijs	Bestaande bouw	55	Natuurlijke ventilatie	10,24	350	61	30
Onderwijslokaal tweede meting	Voortgezet onderwijs	Nieuwbouw	52	Balansventilatie	2,67	219	62	30,4
Onderwijslokaal derde meting	Basis-onderwijs	Bestaande bouw	65	Natuurlijke ventilatie	13,84	341	132	33,6

Tabel 18. Overzicht berekeningen

Bron: Stephan Smits

Voortgezet onderwijs

In grafiek D2 en grafiek D8 staan de meetgegevens van de eerste en tweede meting. Dit is een voortgezet onderwijs. Meting vrijdag 5 maart 2010 is een meting in een bestaand onderwijslokaal zonder mechanische ventilatie. Meting 12 maart 2010 is een meting in een nieuwbouw onderwijslokaal met mechanische ventilatie (bouwbesluit).

De CO₂-concentratie in bedrijfstijd in de bestaande bouw schommelt tussen 1200 en 1600 ppm met een piek van iets over de 1900 ppm. Bij de nieuwbouw schommelt het tussen 1000 en 1500 ppm met een piek van iets boven de 2100 ppm. Hieruit volgt dat bij nieuwbouw met mechanische ventilatie het gemiddelde CO₂-gehalte lager ligt dan bij de bestaande bouw, maar de piek van de CO₂-concentratie weer hoger ligt. Dit komt omdat bij de nieuwbouw rekening is gehouden met het bouwbesluit en als een overbezetting in de klas aanwezig is, is dit niet met de geëiste ventilatie-eis weg te ventileren. Dit kan misschien nog beperkt worden met te openen ramen, maar aangezien het aantal vierkante meters vele malen minder is dan in de bestaande bouw, haalt het open van ramen niet veel uit. In de bestaande bouw is de CO₂-concentratie gemiddeld veel hoger, maar is de piek weer lager dan bij de nieuwbouw. Bij de bestaande bouw zijn namelijk veel meer natuurlijk te ventileren voorzieningen aanwezig dan bij nieuwbouw.

Basisonderwijs

In grafiek D8 staan de resultaten van de derde meting. De meting is op een basisonderwijs zonder mechanische ventilatie uitgevoerd. Wat hieruit te zien is, is dat veel minder CO₂-productie plaatsvindt dan bij voortgezet onderwijs. Dit komt omdat is gemeten in een groep drie waar leerlingen zitten van ongeveer 7 à 8 jaar. Ten opzichte van leerlingen van 13 tot 16 jaar hebben deze een vele malen lagere CO₂-uitstoot. Dit is ook terug te zien in de onderstaande meting. Hier schommelt het CO₂-gehalte tussen 1100 en 1400 ppm. 's Middags hebben de

kinderen waarschijnlijk vrij gehad, maar is wel een leraar aanwezig geweest, vandaar dat het CO₂-gehalte langzaam afloopt aangezien geen mechanische ventilatie in het onderwijslokaal aanwezig is.

Als men naar het temperatuurverloop kijkt, beginnen de leerlingen in een onderwijslokaal met een temperatuur van 19°C. 19°C kan men ondervinden als te koud. Gedurende de dag loopt de temperatuur op met een piek van 21°C. Dit is een temperatuur die aan de lage kant is.

6 Conclusies

In een standaard onderwijslokaal met een vloeroppervlak van 50 m² dient men volgens bouwbesluit minimaal 693 m³/h te ventileren. Met formule 1 uit de ISSO 89 Binnenklimaat scholen wordt de CO₂-concentratie berekend. De CO₂-concentratie wordt berekend in een onderwijslokaal met een standaard bezetting (25 leerlingen) met de luchthoeveelheid welke het onderwijslokaal ventileert. Heeft men een basisonderwijs bezetting (25 leerlingen van ± 12 jaar) dan heeft men aan 693 m³/h genoeg om onder de geëiste CO₂-concentratie van GGD Nederland te blijven. Met 693 m³/h wordt volgens formule 1 de CO₂-concentratie 1.070 ppm. Dit is onder de maximale eis van 1.200 ppm. Gaat men op een voortgezet onderwijsschool een onderwijslokaal (25 leerlingen van ± 16 jaar) ventileren met 693 m³/h, dan zal de maximale eis van 1.200 ppm volgens de berekening overschreden worden. De berekende CO₂-concentratie zal dan namelijk 1.236 ppm worden. Om onder de 1.200 ppm te blijven, zal men minimaal 730 m³/h dienen te ventileren.

Om een keuze te maken tussen de onderzochte luchtbehandelingssystemen dient men eerst naar de situatie te kijken. Dit is namelijk sterk afhankelijk van de keuze die gemaakt kan worden. Belangrijke bepalende factoren voor de keuze voor een luchtbehandelingssysteem zijn onder andere;

- dakvorm, wel of geen verlaagd plafond;
- de gevel (bewerkbaar en/of aanpasbaar);
- en wellicht de grootste factor is hoe groot het budget is van de instantie die het luchtbehandelingssysteem wil aanschaffen.

Wat veel wordt gedacht is dat een groot verschil bestaat tussen bestaande bouw en nieuwbouw. Dit hangt echter af van de situatie. Men dient eerst de situatie van het gebouw en specifieke ruimtes te bekijken wil men tot een keuze komen voor een van de onderzochte luchtbehandelingsunits. Bij bestaande bouw dient men bij een aantal punten meer aandacht te moeten besteden, wat bij nieuwbouw minder aan de orde is. Hierbij valt te denken aan de draagconstructie en het monumentale van een gebouw (gevelaanzicht dient intact te blijven).

6.1 Conclusie per luchtbehandelingsunit

In dit paragraaf worden de verschillende onderzochte systemen behandeld op basis van een aantal criteria. Te denken aan:

- plaatsing;
- Geluidsvermogen;
- Investeringskosten;
- en exploitatiekosten.

Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit

Dit systeem is enkel toepasbaar op het dak of een grote zolder. Bij plaatsing op dak of vloer dient men te letten op het gewicht bij een houten constructie. Door de extra geluiddempers aan de toevoer- en retourzijde heeft de luchtbehandelingsunit op ruimteniveau een laag geluidsdrukkniveau. De hoge investeringskosten en de hoge exploitatiekosten zorgen ervoor dat het systeem een lange terugverdientijd nodig heeft. Hierdoor duurt het lang voor het systeem rendabel wordt voor een organisatie.

Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR

Dit systeem is toepasbaar in berging, zolder of in bouwkundige kast in het onderwijslokaal. De Renovent HR is een kleine luchtbehandelingsunit waar men, bij plaatsing in het onderwijslokaal, een bouwkundige kast dient te maken. Het verstandigste is om dit geluidwerend te maken aangezien de luchtbehandelingsunit een hoog afstralend geluidsvermogen heeft. De luchtbehandelingsunit heeft lage exploitatiekosten wat ervoor zorgt dat het systeem zichzelf binnen een acceptabele tijd heeft terugverdient en rendabel wordt.

Systeem van GEA Happel Nederland – GEA Campos

Dit systeem is enkel toepasbaar op het dak of een grote zolder. Bij plaatsing op dak of vloer op te letten op het gewicht bij een houten constructie. De GEA Campos is een degelijke luchtbehandelingsunit welke toepasbaar is voor alle mogelijke situaties mits de luchthoeveelheid toereikend is. Het nadeel van het systeem is dat het een hoge investering heeft met hoge exploitatiekosten, waardoor het lang duurt voor het systeem zich terugverdient en rendabel wordt.

Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY

Dit systeem is bijna altijd toepasbaar. De Sabiana ENY is een luchtbehandelingsunit welke in het onderwijslokaal dient te worden geplaatst. De voorkeur gaat uit naar de gevel voor de aanzuig- en afzuiglucht van de luchtbehandelingsunit. De luchtbehandelingsunit heeft lage investeringskosten, waardoor het systeem zichzelf binnen enkele jaren terugverdiend. Het nadeel is dat de luchtbehandelingsunit maximaal 600 m³/h kan leveren. Dit zou voor een standaard onderwijslokaal in het basisonderwijs voldoende zijn om onder de geëiste grens van GGD Nederland van 1.200 ppm te blijven. Echter, in dit geval wordt dan niet voldaan aan de minimale geëiste luchthoeveelheid van het bouwbesluit. Dit is namelijk 693 m³/h. Hierdoor mag men dit systeem niet toepassen, omdat dan niet aan de minimale eis wordt voldaan. Een toepassing voor dit systeem is wellicht: een kleiner onderwijslokaal met een mindere bezetting of twee systemen per onderwijslokaal.

Systeem van ITHO – DCW school WTW

Dit systeem is bijna altijd toepasbaar. De DCW school WTW kan tegen de gevel, in plafond, tegen plafond en hangend tegen plafond worden toegepast. De unit dient wel hoog te hangen. In de borstwering of op vloerniveau is het namelijk niet mogelijk. Het nadeel is dat de maximale luchthoeveelheid wat de luchtbehandelingsunit kan opbrengen 725 m³/h is. Volgens de berekening uit de ISSO 89 zal de luchtbehandelingsunit tekortschieten op een standaard onderwijslokaal in het voortgezet onderwijs. Hier is namelijk de minimale luchthoeveelheid van 730 m³/h nodig. Het systeem levert in dit geval wel voldoende om een standaard onderwijslokaal in het basisonderwijs te ventileren. Een groot voordeel is, dat het een lage investering is en lage exploitatiekosten heeft wat betekent dat het een rendabel systeem is wat zichzelf in een acceptabele tijd terugverdiend.

Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek) – Het scholenconcept

Dit systeem is enkel toepasbaar bij een verlaagd plafond. Als men een verlaagd plafond heeft, dient men ook nog op te letten of dit hoog genoeg is om de luchtbehandelingsunit in te plaatsen. Het voordeel van dit systeem is dat het maar één ventilator heeft en standaard toepasbaar is voor verwarmen, koelen en koppelbaar met de verlichting en elektrische zonwering. Het voor- en nadeel is dat het een dynamische warmteterugwinning heeft. Als de warmteterugwinning in werking treedt gaat de luchtbehandelingsunit de ruimtelucht mengen met de aanzuiglucht. Hierdoor zal minder door de verwarmingsbatterij verbruikt worden wat de stookkosten omlaag brengt. Het nadeel hiervan is dat de ruimtelucht wordt gerecirculeerd en dus ook de CO₂-concentratie recirculeert. Hierdoor zal in de toevoerlucht een hogere CO₂-concentratie aanwezig zijn dan gewenst. Recirculeren is toegestaan mits de 1.200 ppm niet overschreden wordt en de minimale gestelde luchthoeveelheid van het bouwbesluit wordt geventileerd met verse buitenlucht. Een ander nadeel is dat een hoge investering nodig is voor de luchtbehandelingsunit.

Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Dit systeem is enkel toepasbaar in de borstwering. Gezien de SCHOOLAIR-B een kleine luchthoeveelheid heeft, namelijk 250 m³/h dienen drie luchtbehandelingsunits per onderwijslokaal geplaatst te worden. De aanzuig en afblaas dient door de gevel te gaan. Het is een vrij duur systeem en de exploitatiekosten liggen vrij hoog. Het is uiteindelijk geen rendabel systeem.

Een aantal van de onderzochte systemen maken gebruik van EC-ventilatoren. Deze ventilatoren zorgen ervoor dat de elektriciteitskosten verminderen ten opzichte van AC- of DC-ventilatoren. Een EC-ventilator haalt namelijk een rendement van boven de 90%. Doordat relatief weinig componenten in de motor aanwezig zijn, zijn de onderhoudskosten ook lager.

De keuze voor het systeem is dus afhankelijk van verschillende factoren. Men dient de voor- en nadelen af te wegen van de onderzochte systemen welke in een situatie toepasbaar zijn.

6.2 Keuze luchtbehandelingsunit per onderwijslokaal

Bij de drie onderwijslokalen waar de metingen zijn uitgevoerd is als resultaat uitgekomen dat alle drie de lokalen boven de gestelde eis van 1.200 ppm uitkomen. Een oplossing hiervoor is het plaatsen van een luchtbehandelingsunit.

Onderwijslokaal 1

Bestaande bouw, voortgezet onderwijs, verlaagd plafond, drie ramen met hoge borstwering, eerste verdieping van totaal twee verdiepingen.

De toe te passen systemen zijn:

- Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR
- Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek) – Het scholenconcept

- Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

De beste keuze uit bovenstaande systemen is het systeem van Brink Climate Systems. De Renovent HR heeft van de drie bovenstaande de laagste investeringskosten, de laagste exploitatiekosten en dus ook de snelste terugverdientijd. Na zeven jaar is het systeem terugverdiend ten opzichte van het basissysteem en wordt het een rendabel systeem.

Onderwijslokaal 2

Nieuwbouw, voortgezet onderwijs, verlaagd plafond, gevel volledige beglazing met hoge borstwering, tweede verdieping van totaal vier, balansventilatie.

Aangezien hier al een balansventilatie aanwezig is, dient men eerst te overwegen om hieraan aanpassingen te doen, zoals het optoeren van de ventilator en een grotere luchtbehandelingskast. Zou men toch overwegen om nog een extra luchtbehandelingsunit te plaatsen in het onderwijslokaal dan zijn de volgende systemen het best toepasbaar:

- Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY
- Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

De beste keuze is het systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek). Zou men een volledig onderwijslokaal ventileren dan zijn drie luchtbehandelingsunits nodig. Aangezien één luchtbehandelingsunit maar een luchtcapaciteit heeft van 250m³/h. Omdat in het tweede onderwijslokaal al een luchtbehandelingssysteem aanwezig is, zou men één unit in de borstwering kunnen plaatsen voor de extra ventilatie die men niet kan leveren middels het centrale luchtbehandelingssysteem. De luchtbehandelingsunit kan enkel in bedrijf komen als het centrale luchtbehandelingssysteem het niet meer kan halen om onder de 1.200 ppm te blijven. Dit zal waarschijnlijk gebeuren als in het onderwijslokaal een grotere bezetting aanwezig is dan is berekend. De luchtbehandelingsunit hoeft dus enkel in de piekmomenten in bedrijf te komen. Hierdoor blijft het gasverbruik en elektriciteitsverbruik minimaal.

Onderwijslokaal 3

Bestaande bouw, basis onderwijs, getimmerde schrootjes plafond, twee gevels met vijf ramen en een borstwering, begane grond, plat dak.

De toe te passen systemen zijn:

- Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit
- Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR
- Systeem van GEA Happel Nederland – GEA Campos
- Systeem van ITHO – DCW school WTW
- Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek) – Het scholenconcept
- Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Een beste keuze voor dit lokaal is het systeem van ITHO. De DCW school WTW kan men tegen een gevel plaatsen met doorvoeringen voor de aanzuig- en afblaaslucht door de gevel of het dak. De luchtbehandelingsunit heeft een lage investering en lage exploitatiekosten. Hierdoor is de terugverdientijd ten opzichte van de overige systemen ook zeer laag. Na vijf jaar is het systeem terugverdiend ten opzichte van het basissysteem en wordt het een rendabel systeem.

Zoals te zien is aan de keuzes van de systemen uit bovenstaande onderwijslokalen is het per situatie afhankelijk wat de mogelijkheden zijn. Voor elk onderwijslokaal is dit anders, omdat elk onderwijslokaal een andere vormgeving heeft met verschillende factoren die meespelen. Elke luchtbehandelingsunit heeft zijn voor- en nadelen, zowel financieel, technisch en de toepasbaarheid.

7 Aanbevelingen

Hieronder een aantal aanbevelingen voor mogelijke verbeterpunten van het uitgevoerde onderzoek en voor toekomstig (vervolg)onderzoek.

7.1 Metingen en berekeningen

Om dit rapport nog preciezer te maken zou men als aanbeveling een standaard onderwijslokaal moeten nemen waarin een aantal testopstellingen kunnen worden opgezet. Hiermee zou men dan de gegevens voor het toe te passen luchtbehandelingssysteem kunnen meten, maar ook metingen kunnen uitvoeren wanneer het luchtbehandelingssysteem in werking is. Dan is dus uit de gegevens te halen wat het werkelijke verschil is als men een bepaald luchtbehandelingssysteem zou toepassen op een onderwijslokaal. Met deze gegevens is dan te zien of het toepassen van een luchtbehandelingssysteem van een bepaalde leverancier nuttig is voor het binnenklimaat. Ook kan men hierbij het verbruik bij een testopstelling meten. Dan wordt meteen duidelijk of het een systeem daadwerkelijk rendabel is. De geluidsproductie kan hierbij dan ook worden gemeten, waardoor men meteen kan zien of de opgegeven geluidsproductie van de leverancier overeenstemt met de werkelijkheid.

7.2 Luchtbehandelingsunit met ingebouwde warmtepomp

Misschien is het in de toekomst mogelijk om een luchtbehandelingsunit te selecteren met daarin een kleine warmtepomp. Dit zorgt voor zowel warmte- als koudeproductie welke aan de toevoerlucht kan worden toegevoerd. Het voordeel hiervan is dat een warmtepomp enkel een stroomdraad heeft. Dus hoeven geen cv- en/of koelleidingen worden aangelegd. Een nadeel hiervan is dat de geluidsproductie aanzienlijk meer zal zijn en het een hoge investering kost, maar dit zich in korte tijd zal terugverdienen. De elektriciteit zou in het beste geval ook nog duurzaam kunnen worden opgewekt middels zonne-energie en windenergie. Hiermee zou men in een ideale situatie van een nul energie gebouw kunnen spreken. Dit is een gebouw wat geen energiebehoefte van buitenaf nodig heeft. Dit zal dus een zeer hoge investering hebben en de vraag is dan of het gebouw zichzelf binnen een korte tijd zou kunnen terugverdienen.

7.3 Centrale luchtbehandeling

Als men niet voor een decentrale, maar voor een centrale luchtbehandelingsinstallatie kiest, zijn andere opties mogelijk. Hoe meer onderwijslokalen worden geventileerd, hoe lager de investering per onderwijslokaal. Het voordeel van een decentrale oplossing is dat men niet alle installaties voor de onderwijslokalen in één keer hoeft aan te schaffen. Dit kan bijvoorbeeld ook gefaseerd gaan. Bij een centraal luchtbehandelingssysteem dient alles in één keer te worden aangeschaft. Bij een centraal luchtbehandelingssysteem is wel de mogelijkheid om koeling toe te passen. Dit kan ook later nog worden aangeschaft mits hier ruimte voor is vrijgehouden nabij de luchtbehandelingskast. De ventilatiebehoefte voor de onderwijslokalen kunnen met CO₂-sensoren en variabele regelventielen worden geregeld. Hierdoor worden leegstaande onderwijslokalen minder geventileerd dan onderwijslokalen, welke wel in gebruik zijn.

Literatuuroverzicht

Bouwfisica 1 – Vakgroep bouwfysica TU Delft

ISSO 24 installatiegeluid

ISSO 89 Binnenklimaat scholen

NEN-EN 13779 Ventilatie voor utiliteitsgebouwen – presentatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen

Project management vijfde druk – Roel Grit

TVVL magazine

TVVL cursus geluid

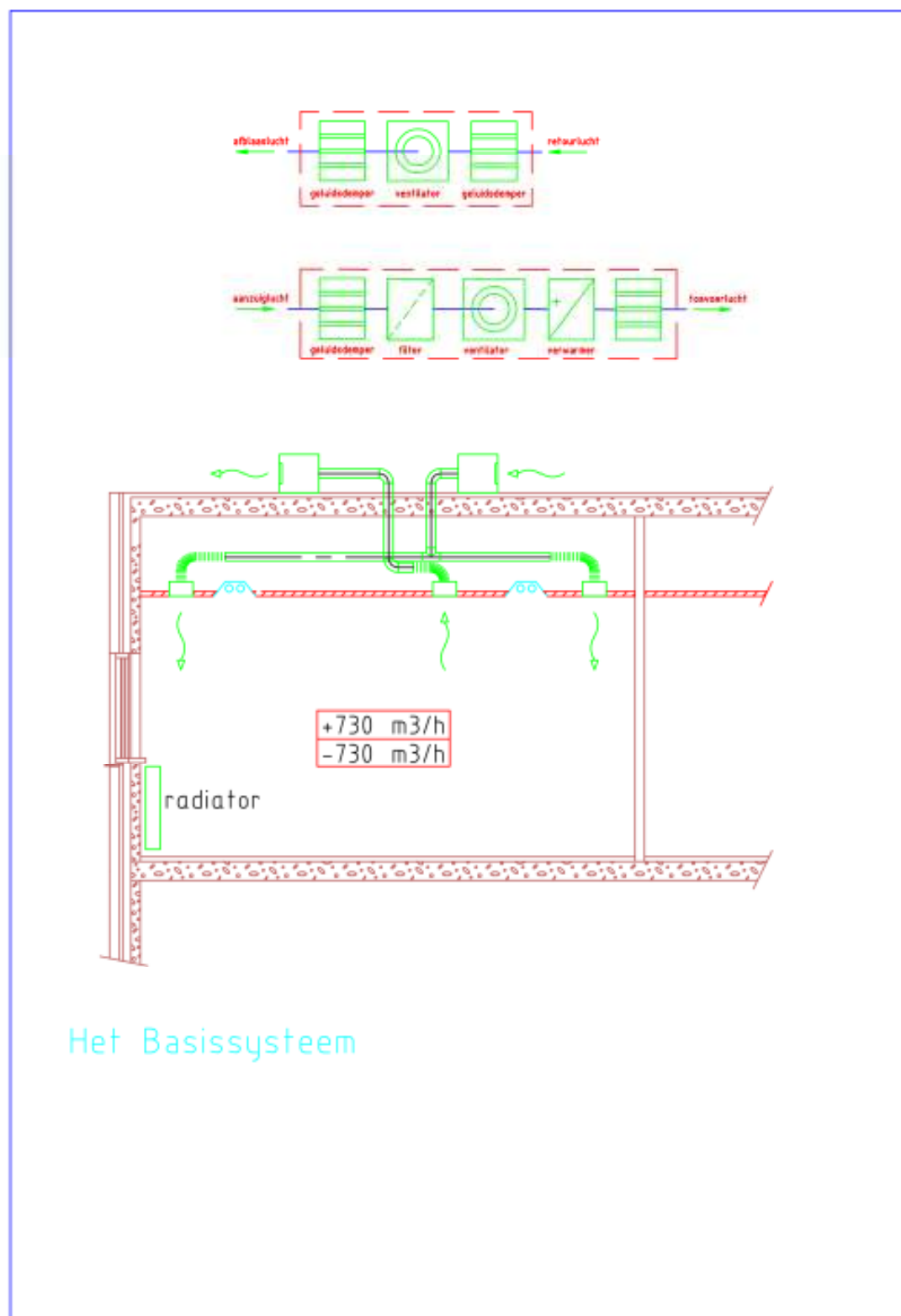
TVVL cursus luchtbehandeling

www.bouwbesluit-online.nl

Bijlagen

A. Stromingsschema

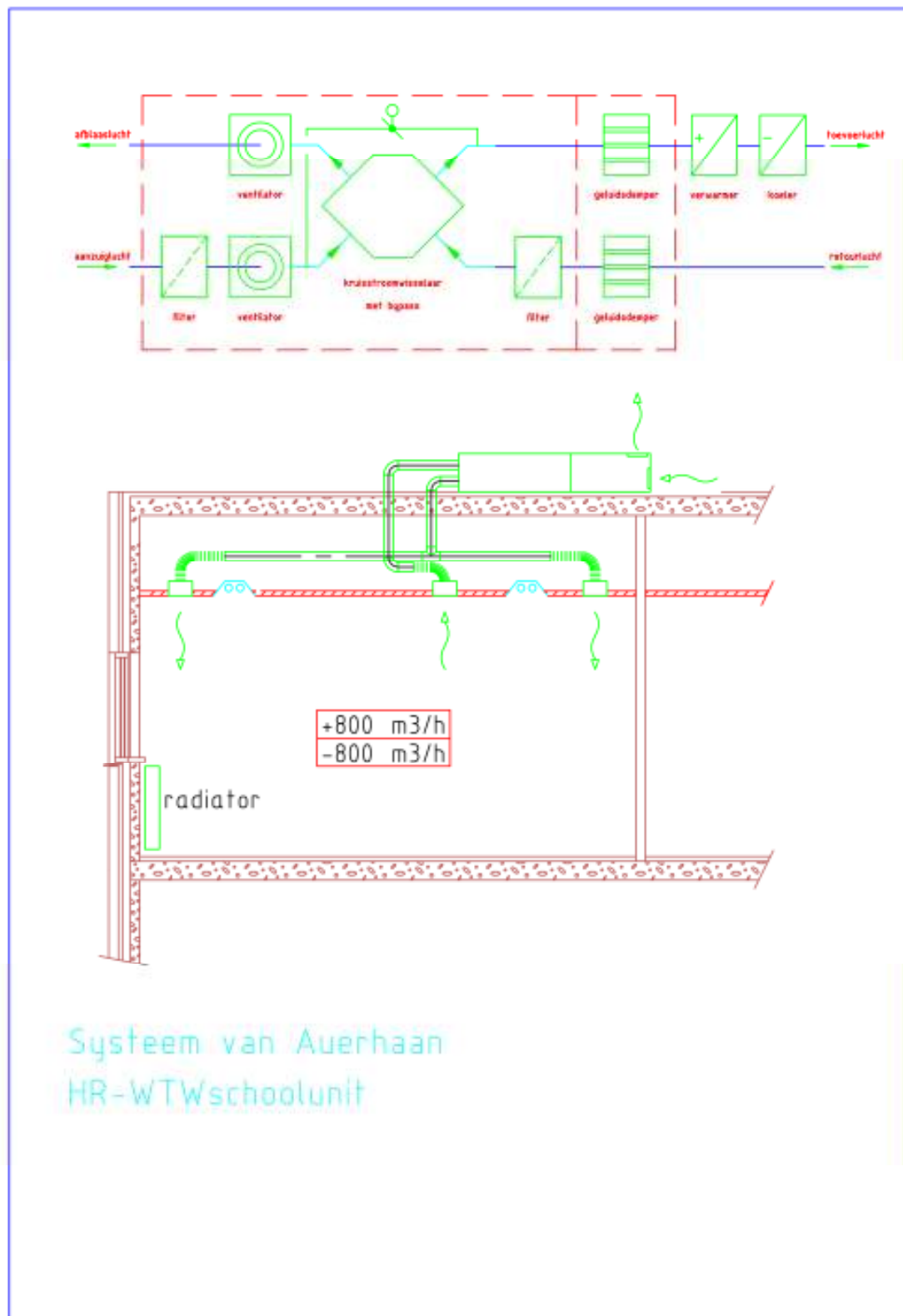
B. Principeschema's



getekend met StabiCAD®

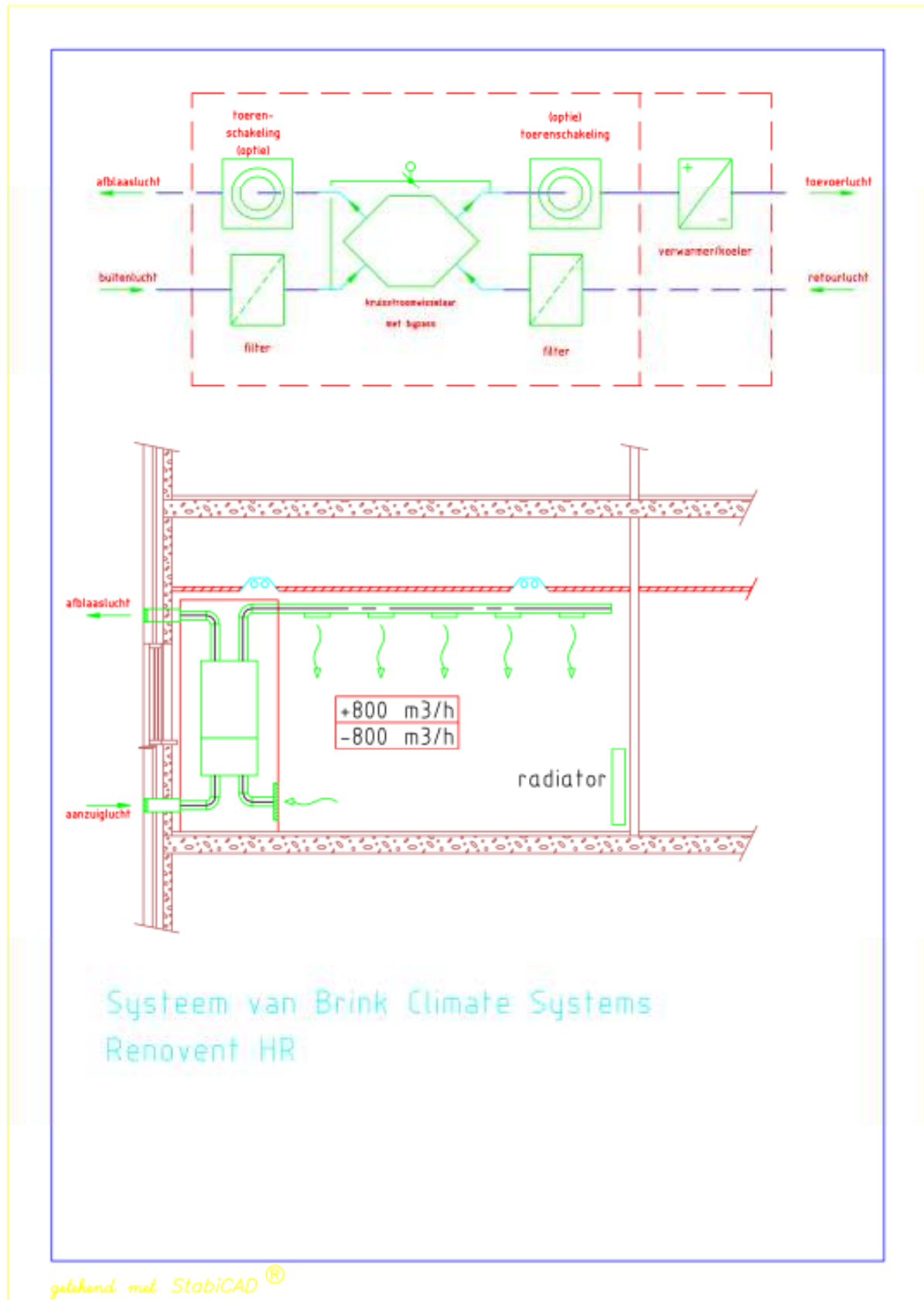
Principeschema B1. Basissysteem

Bron: Stephan Smits

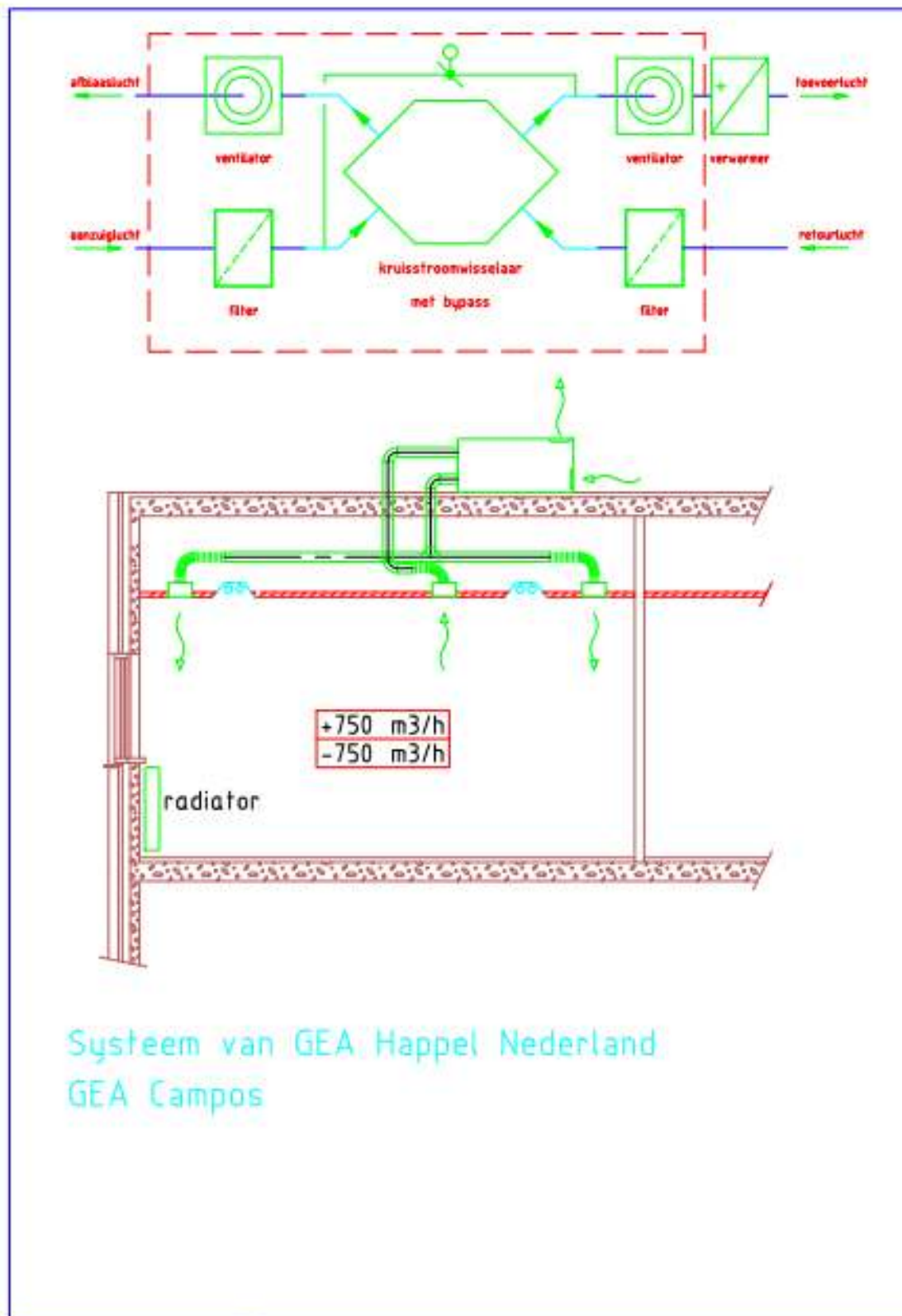


getekend met StabiCAD®

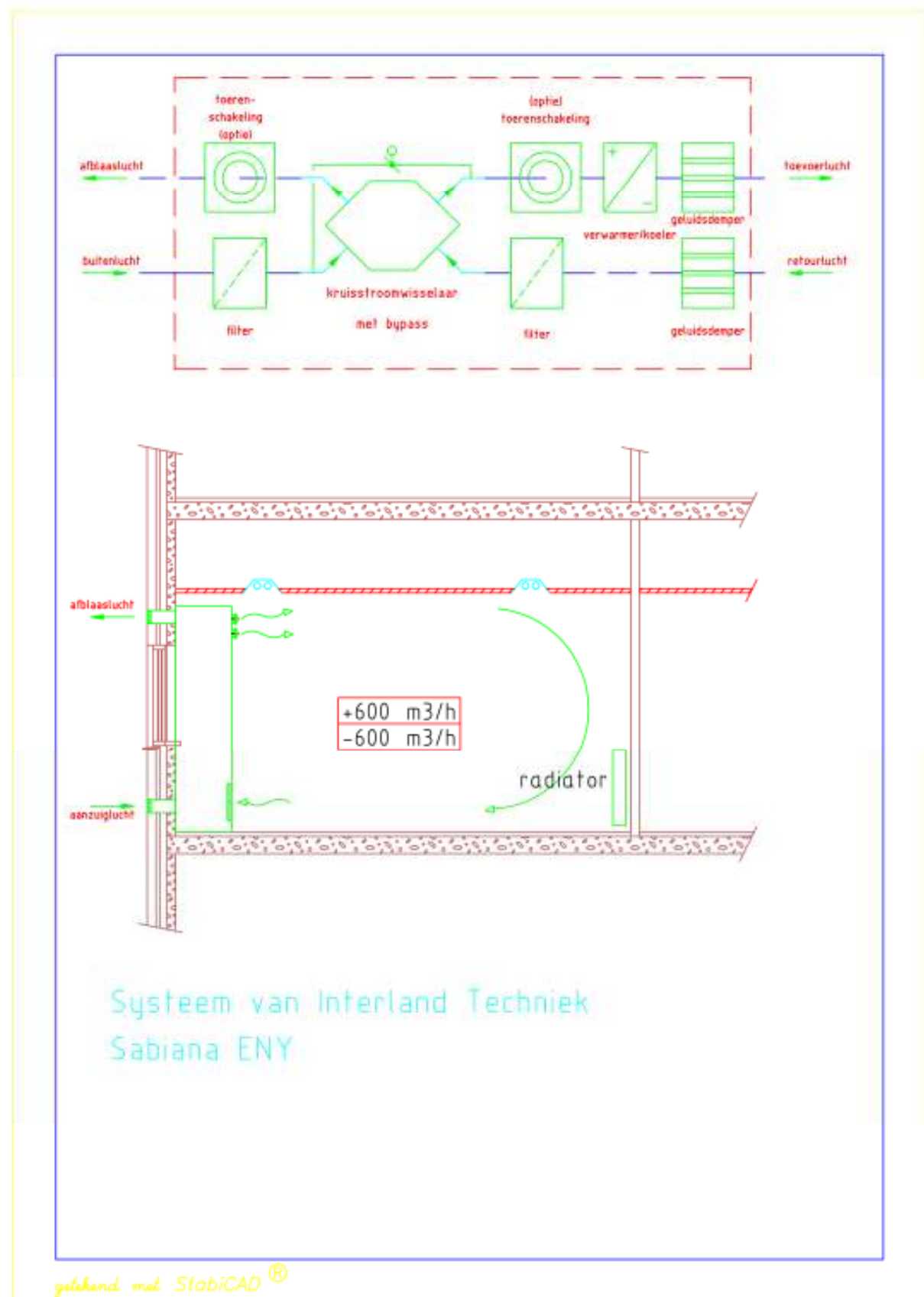
Principeschema B2. Systeem van Auerhaan klimaattechniek, HR-WTWschoolunit (buitenopstelling)
Bron: Stephan Smits



Principeschema B3. Systeem van Brink Climate Systems, Renovent HR in combinatie met de ELAN
 Bron: Stephan Smits

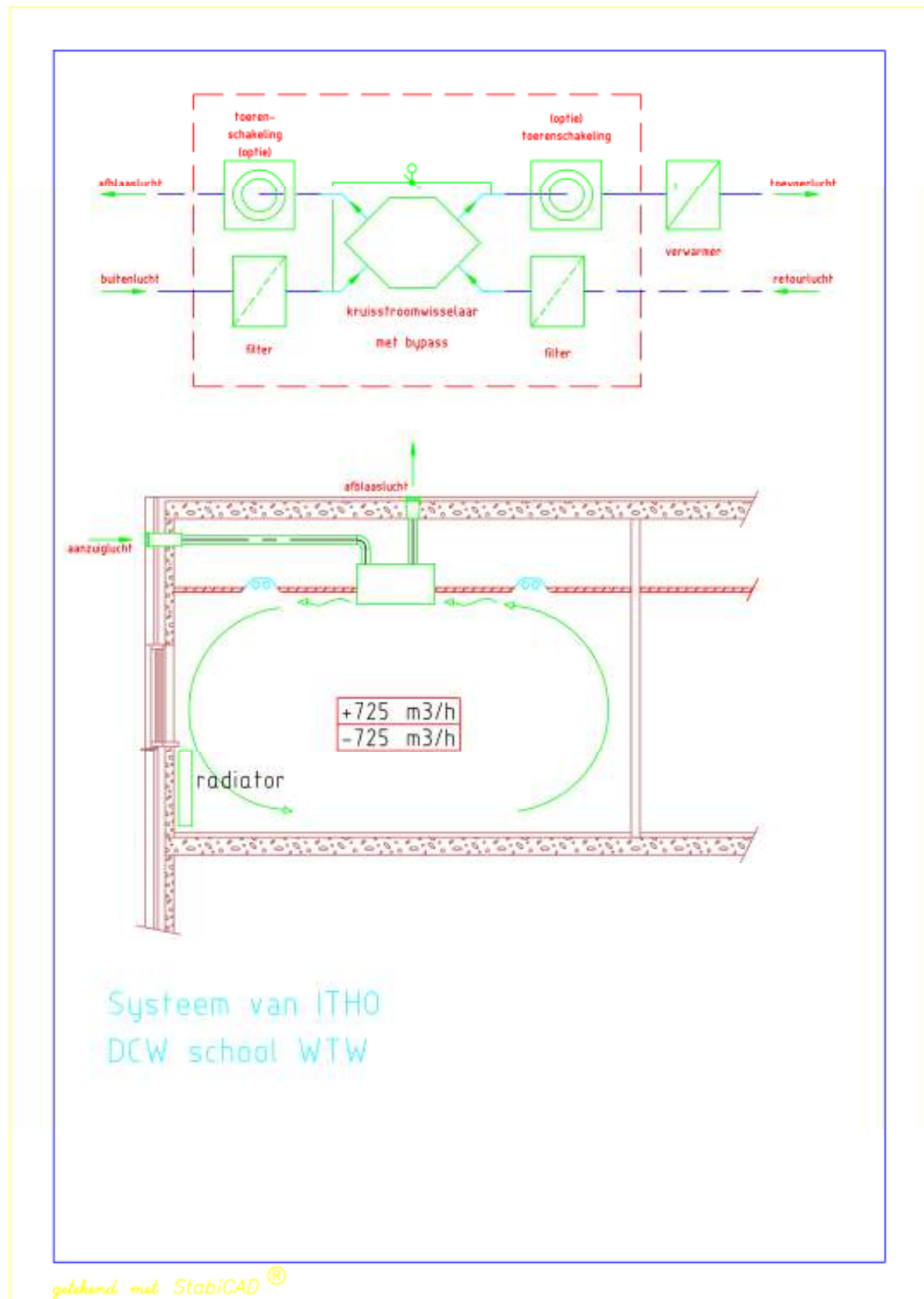


Principeschema B4. Systeem van GEA Happel Nederland, GEA Campos
 Bron: Stephan Smits

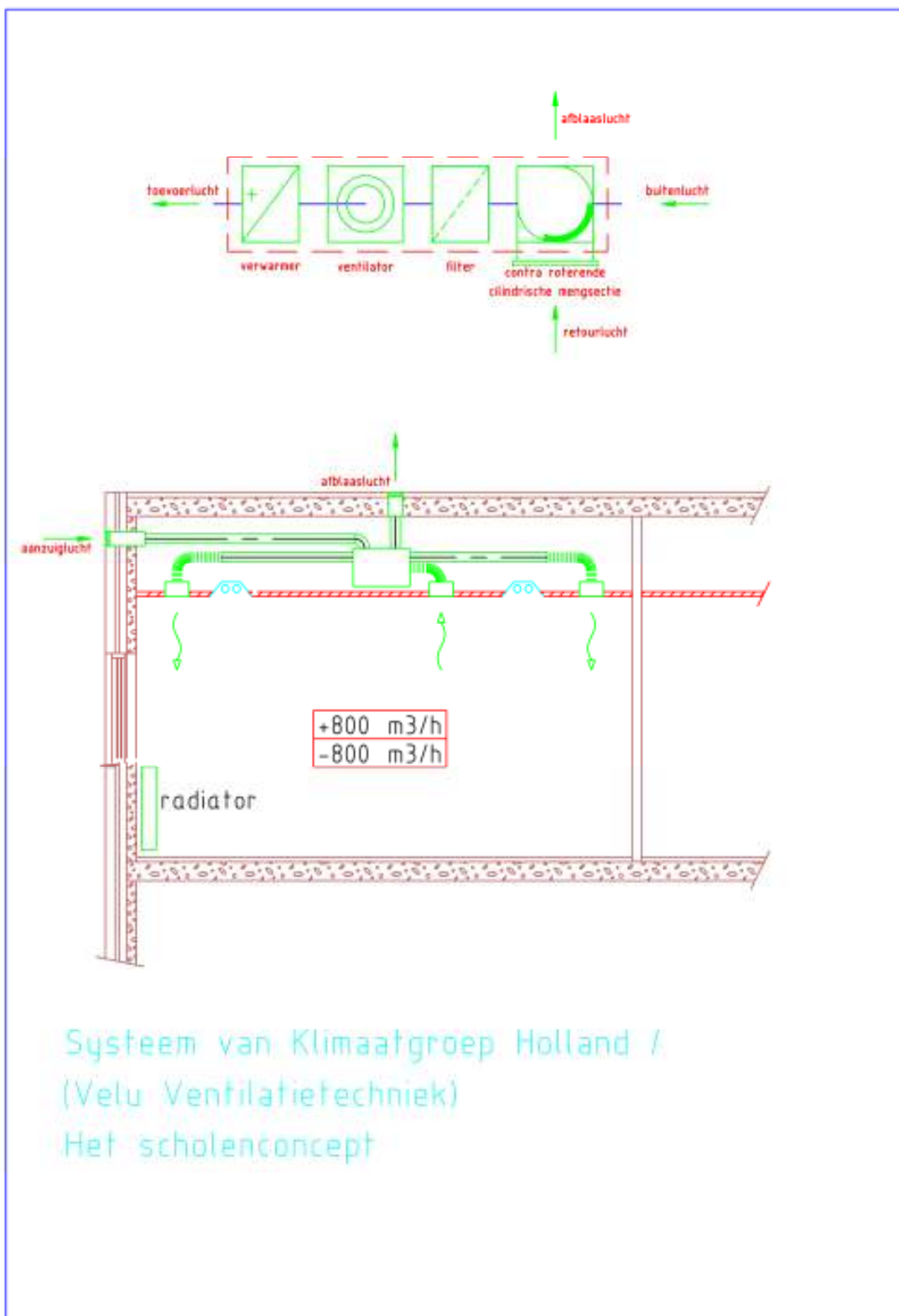


Principeschema B5. Systeem van Interland Techniek, Sabiana ENY

Bron: Stephan Smits

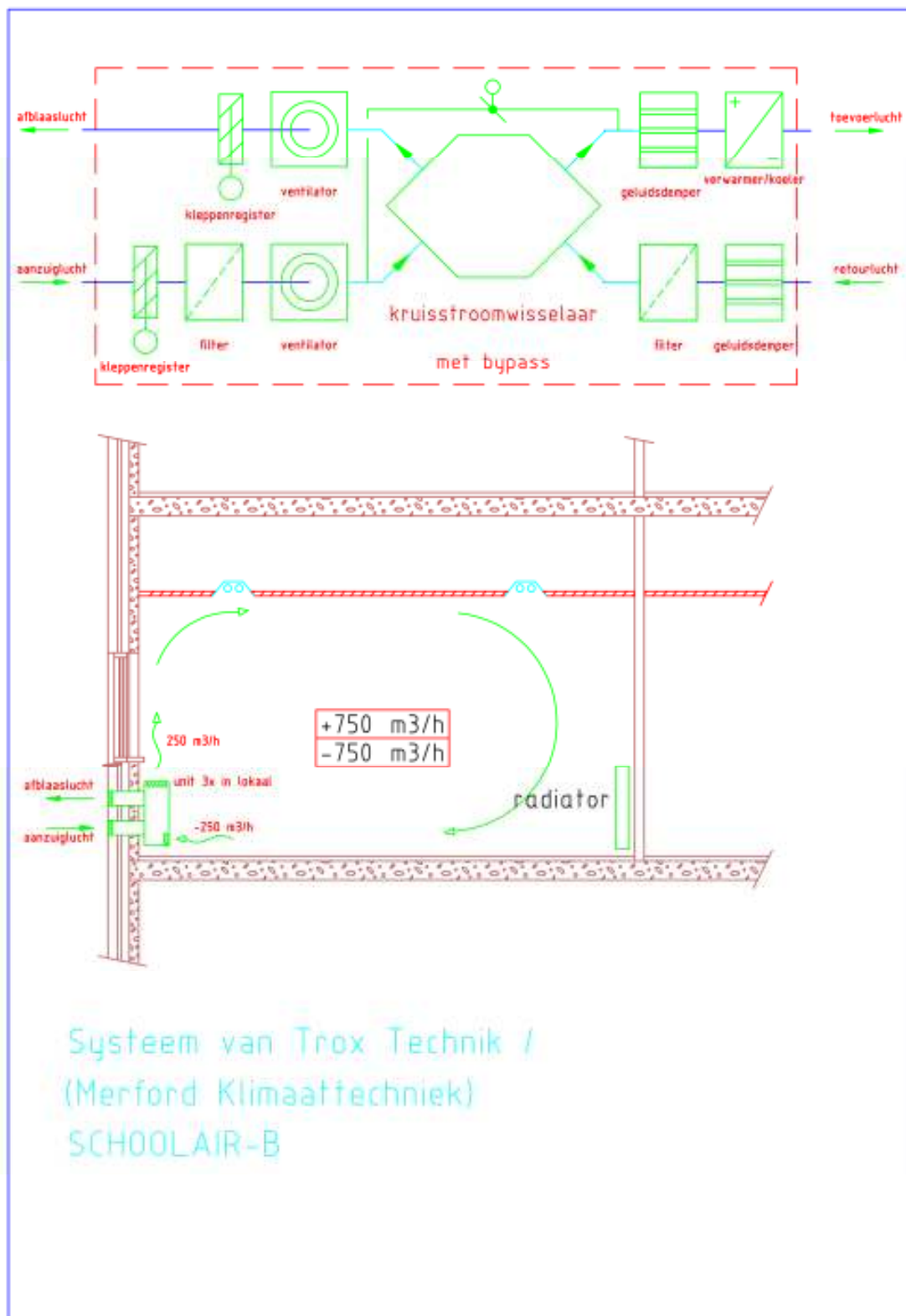


Principeschema B6. Systeem van ITHO, DCW school WTW
Bron: Stephan Smits



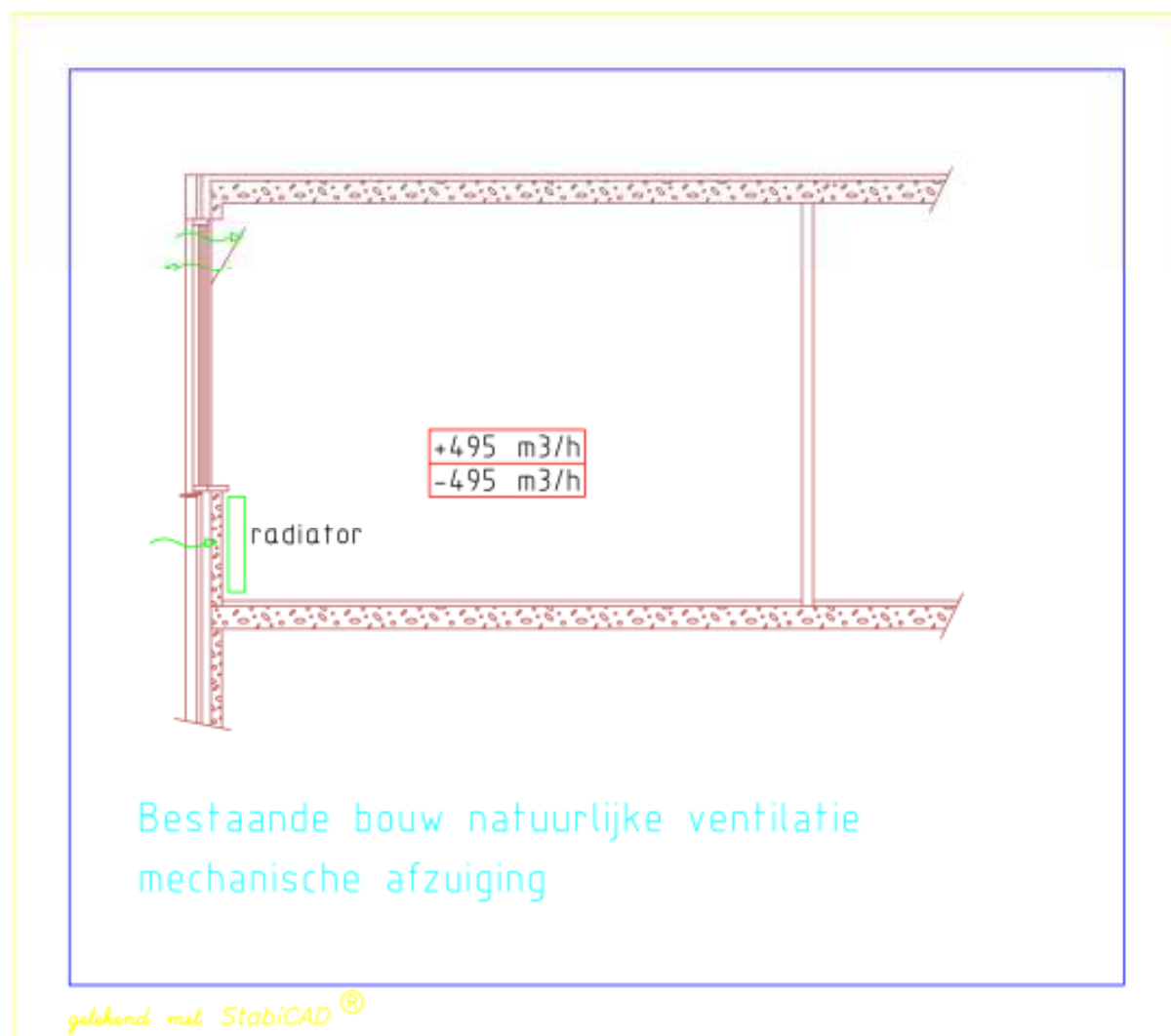
gemaakt met StabiCAD[®]

Principeschema B7. Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu Ventilatietechniek), Het Scholenconcept
Bron: Stephan Smits

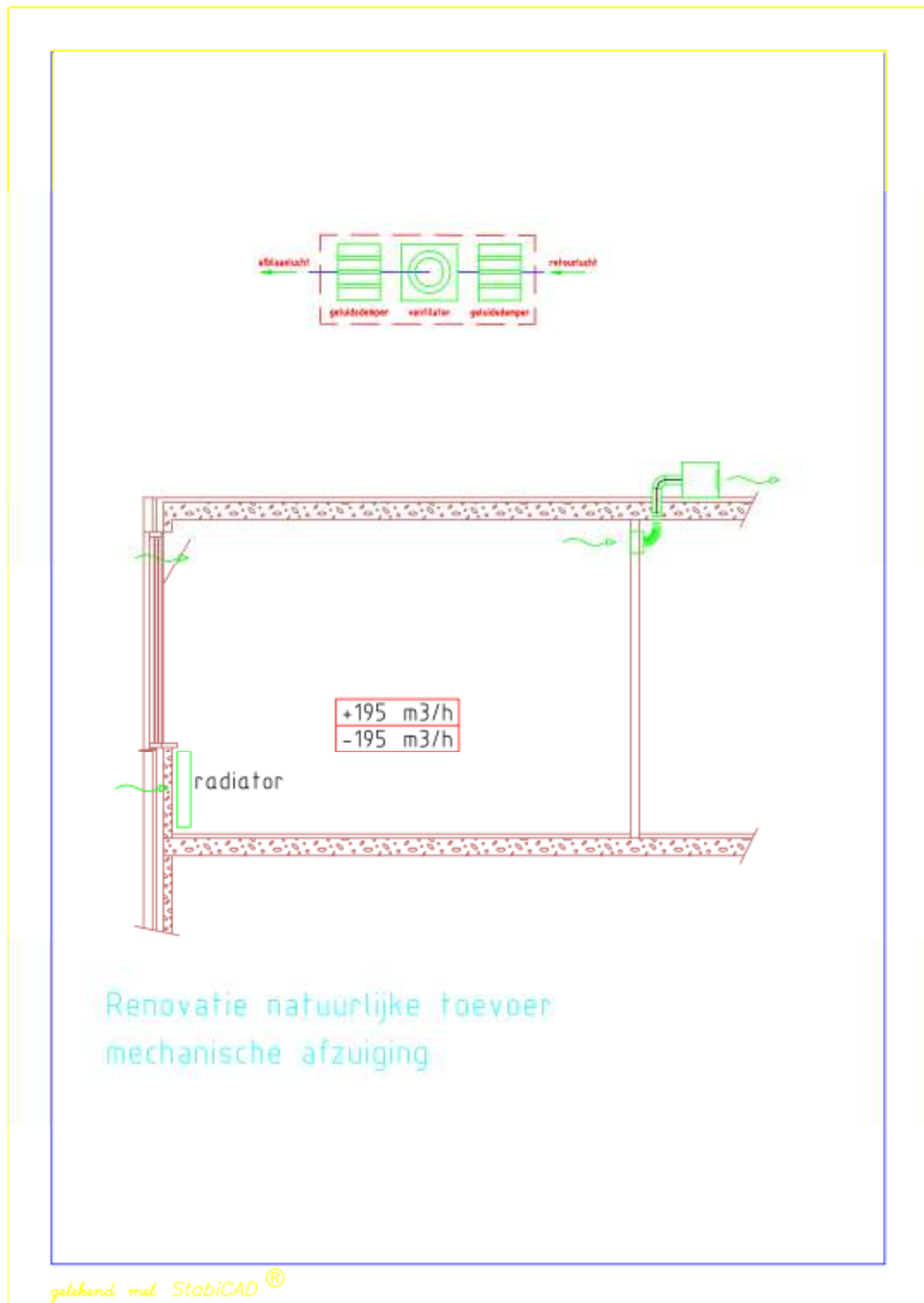


getekend met StabiCAD[®]

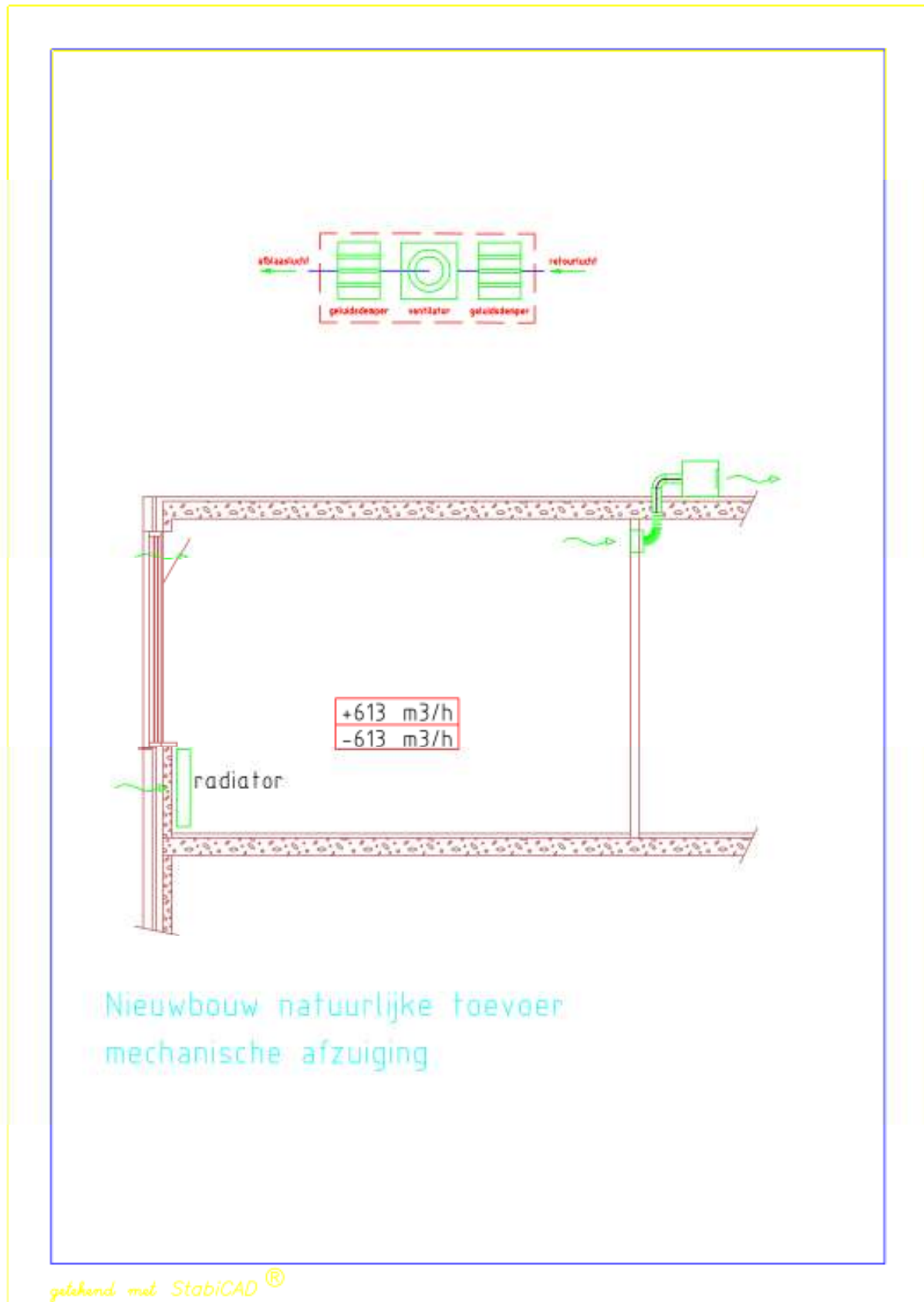
Principeschema B8. Systeem van Trox Technik (Merford Klimatechniek) – SCHOOLAIR-B
Bron: Stephan Smits



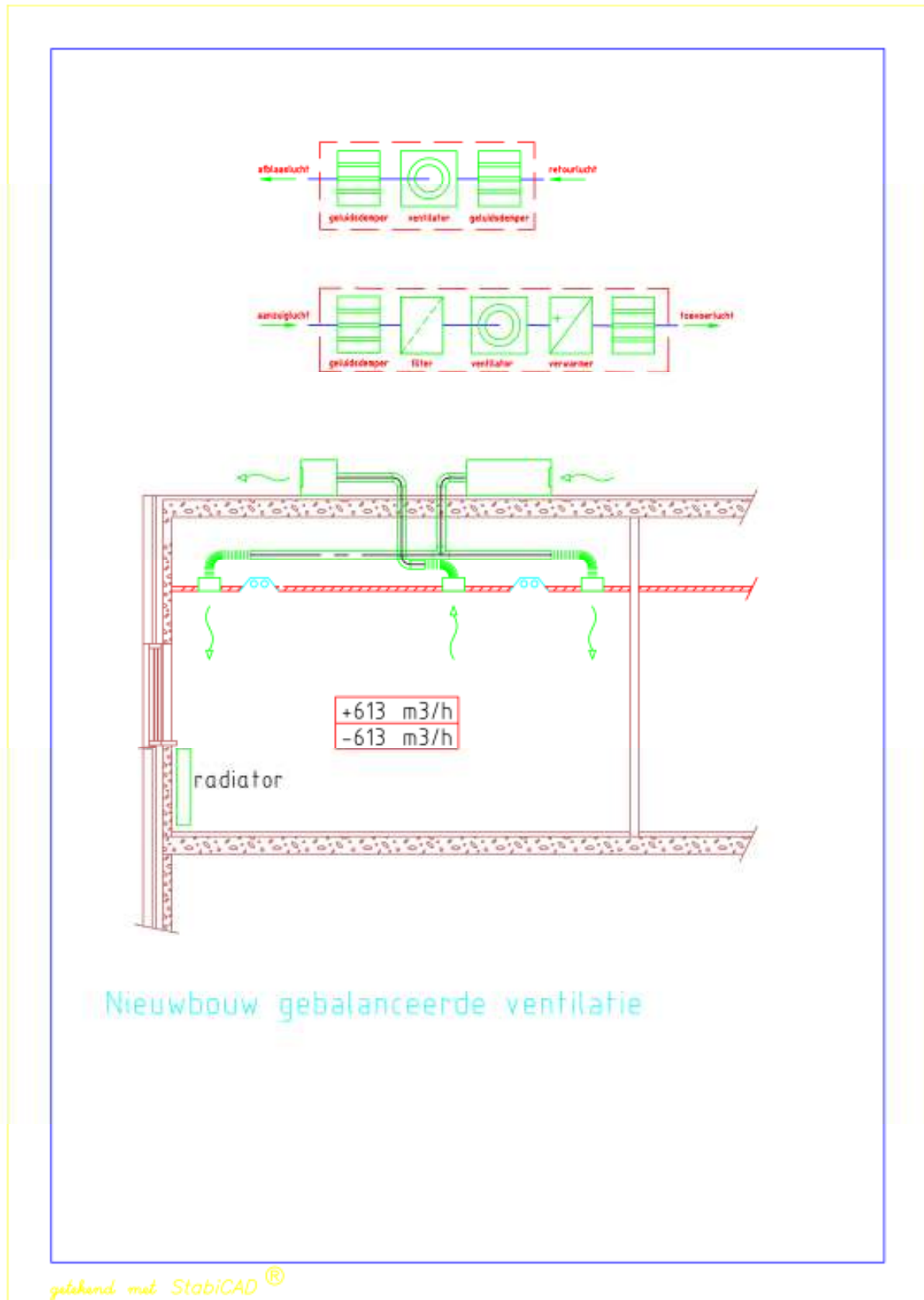
Principeschema B9. Bestaande bouw met natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen
Bron: Stephan Smits



Principeschema B10. Bestaande bouw met natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen
 Bron: Stephan Smits

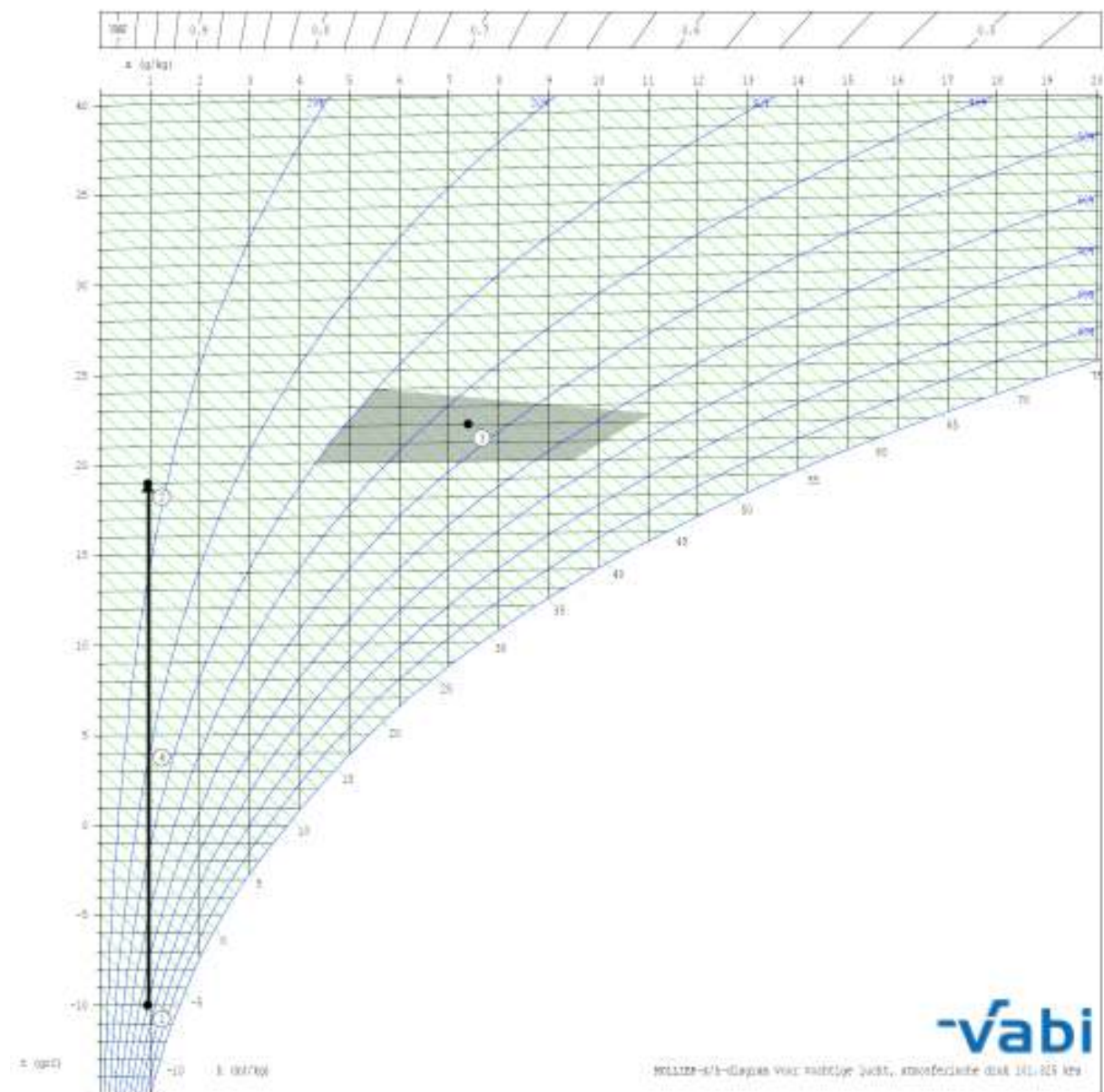


Principeschema B11. Bestaande bouw met natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen
Bron: Stephan Smits



Principeschema B12. Bestaande bouw met natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen
Bron: Stephan Smits

C. Mollier diagrammen en luchtcondities



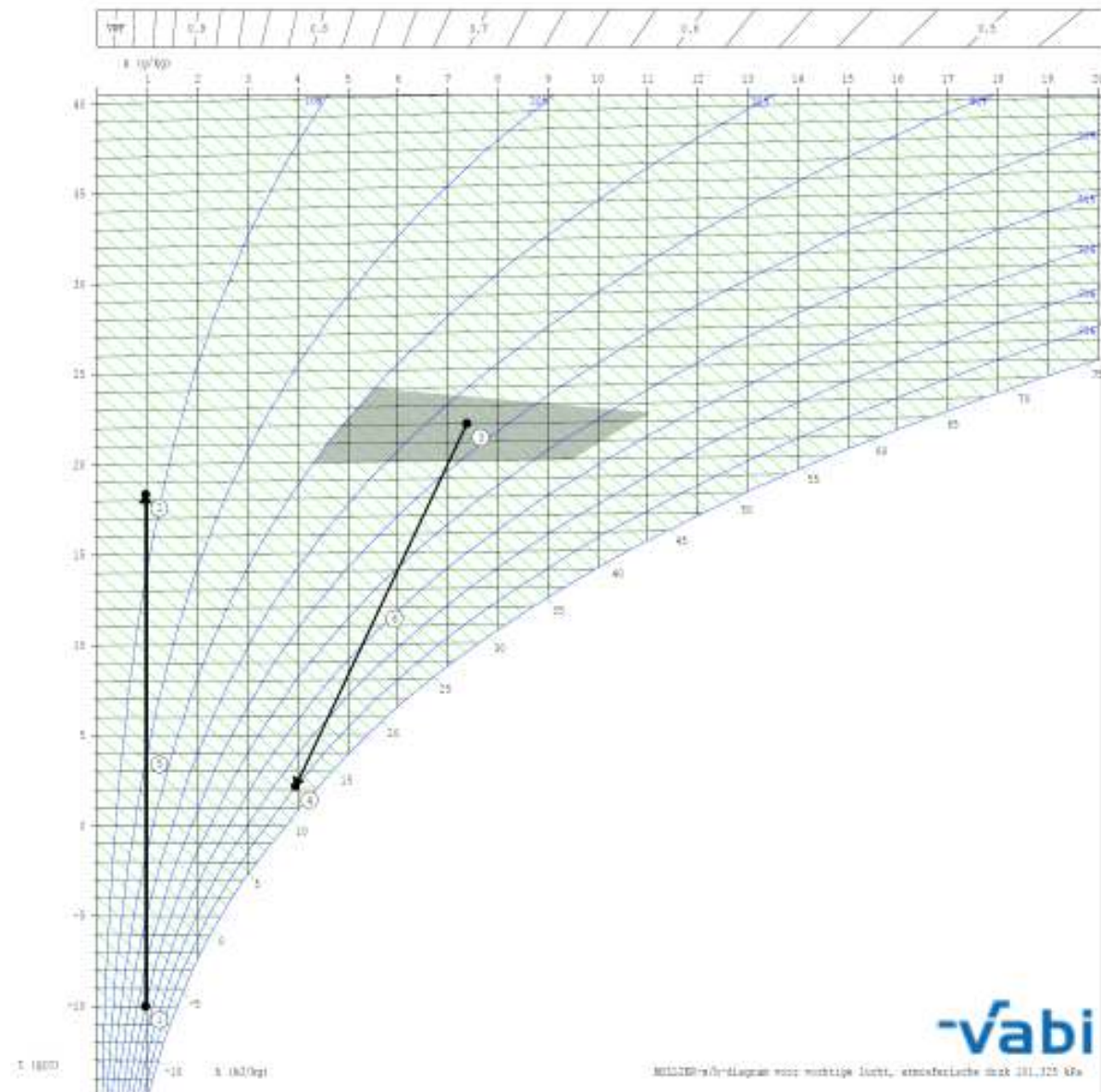
Mollier diagram C1. Basissysteem

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede ventilator / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede verwarmingsbatterij	18.4	7.38
3. Retourlucht / afblaaslucht	2.2	89.6
4. Luchtverwarming door de verwarmingsbatterij van buitenconditie naar inblaasconditie	-	-

Tabel C1 Luchtcondities basissysteem

Bron: Stephan Smits



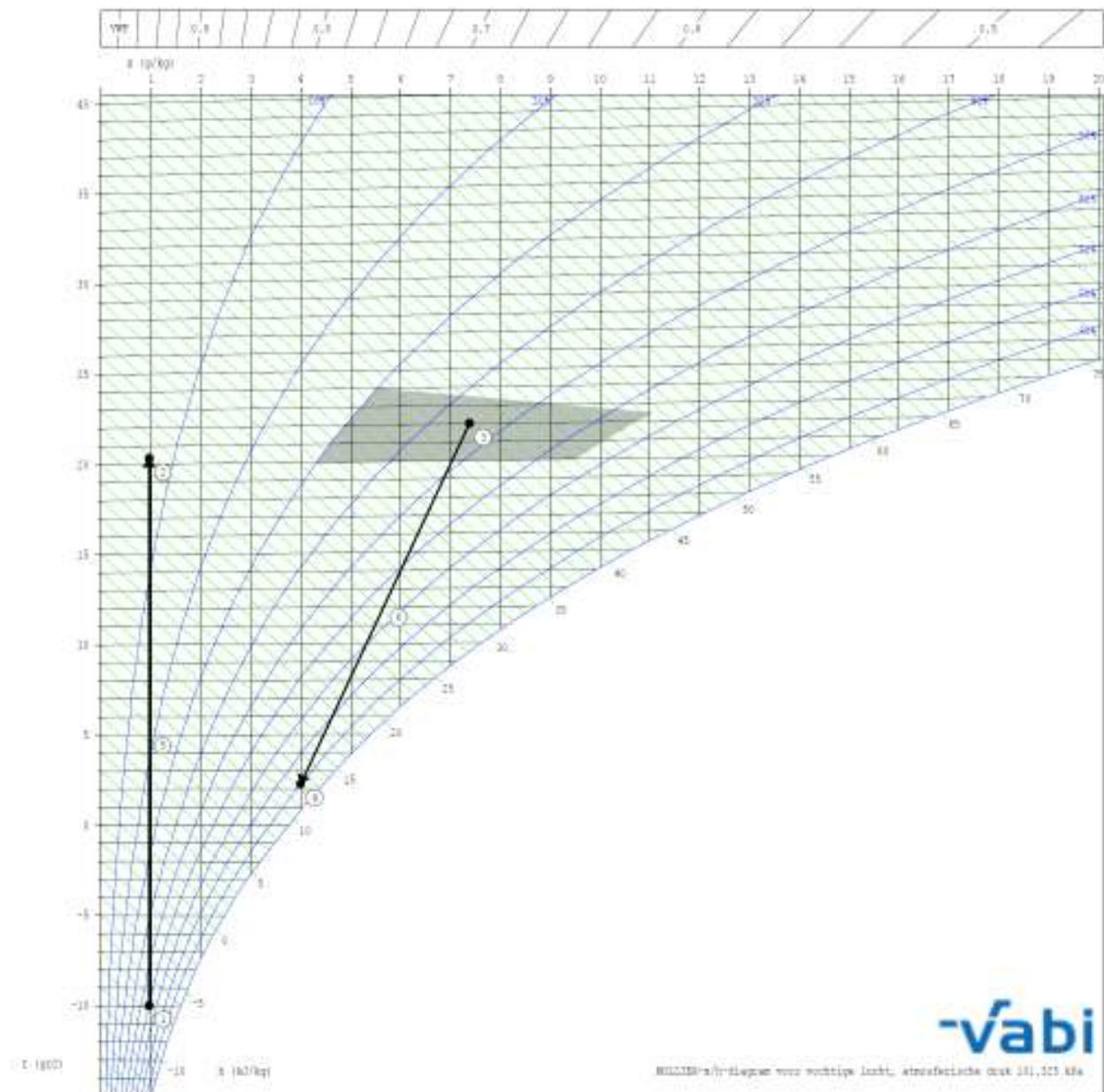
Mollier diagram C2. Systeem van Auerhaan klimaattechniek, HR-WTWschoolunit

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	18.4	7.38
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	2.2	89.6
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2	-	-
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4	-	-

Tabel C2. Luchtcondities systeem van Auerhaan klimaattechniek – HR-WTWschoolunit

Bron: Stephan Smits



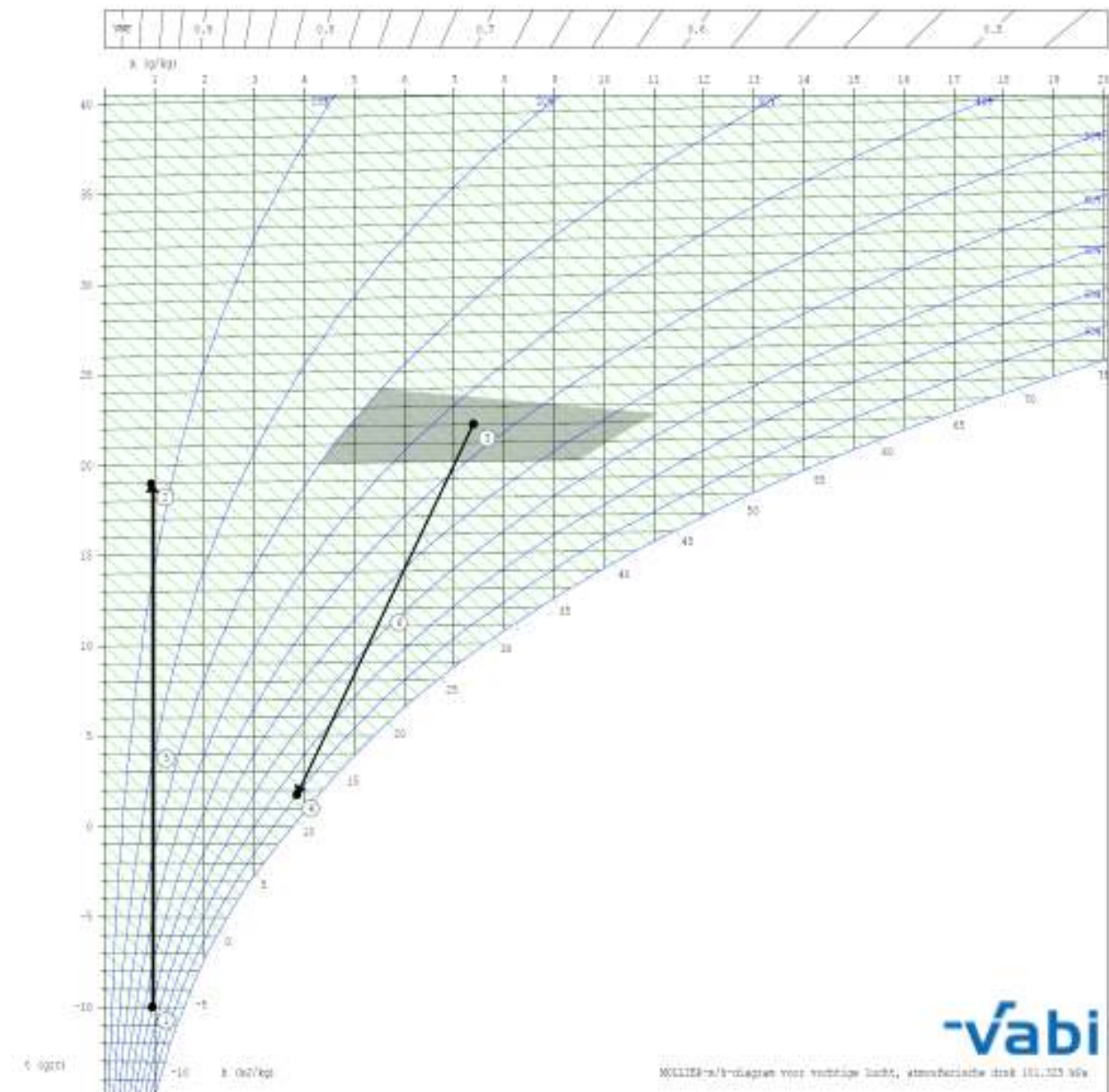
Mollier diagram C3. Systeem van Brink Climate Systems, Renovent HR in combinatie met ELAN

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	20.4	6.51
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	2.3	90
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2	-	-
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4	-	-

Tabel C3. Luchtcondities systeem van Brink Climate Systems, Renovent HR in combinatie met ELAN

Bron: Stephan Smits



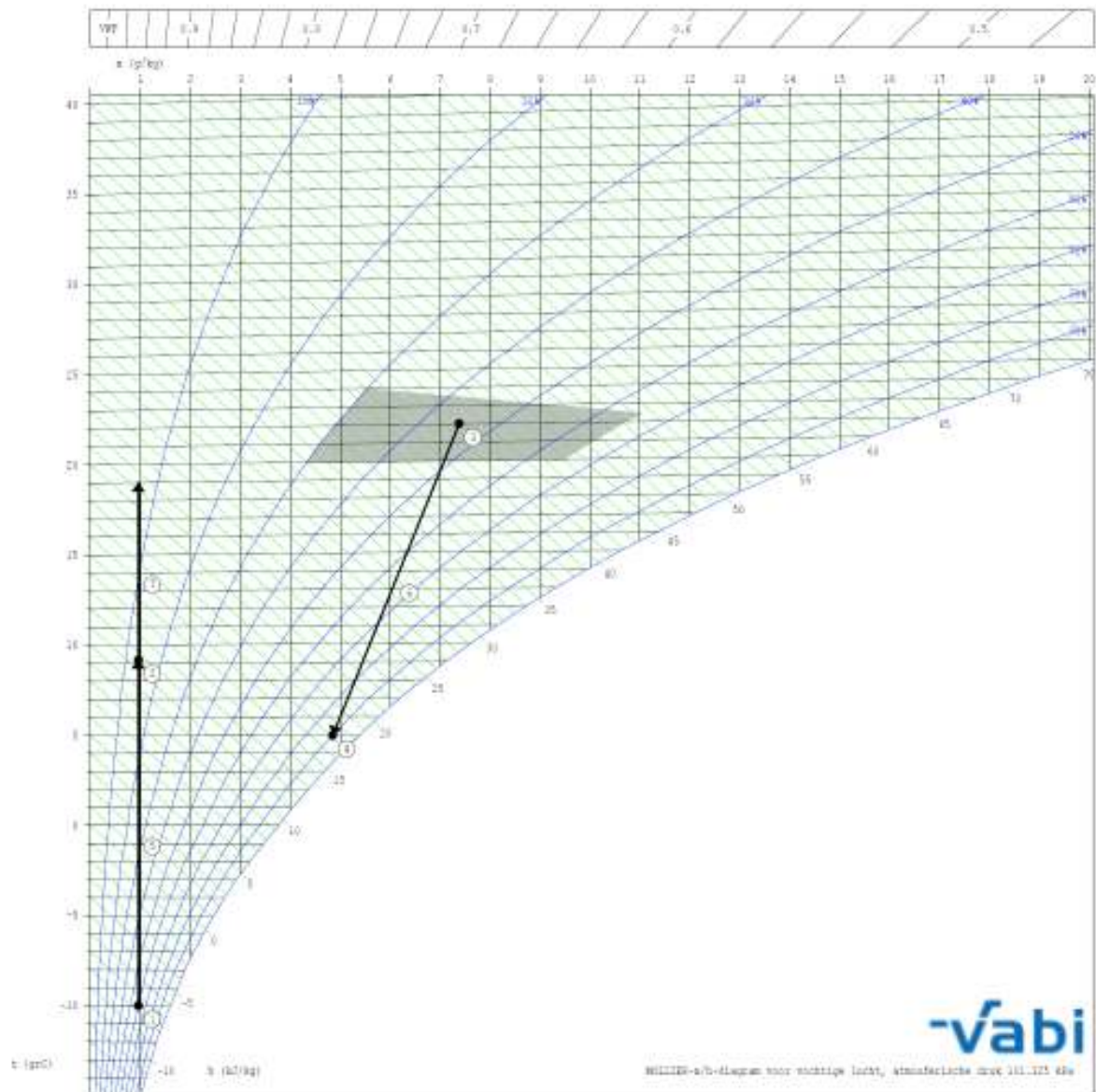
Mollier diagram C4. Systeem van GEA Happel Nederland, GEA Campos

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	19	7
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	1,8	90
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2	-	-
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4	-	-

Tabel C4. Luchtcondities systeem van GEA Happel Nederland – GEA Campos

Bron: Stephan Smits



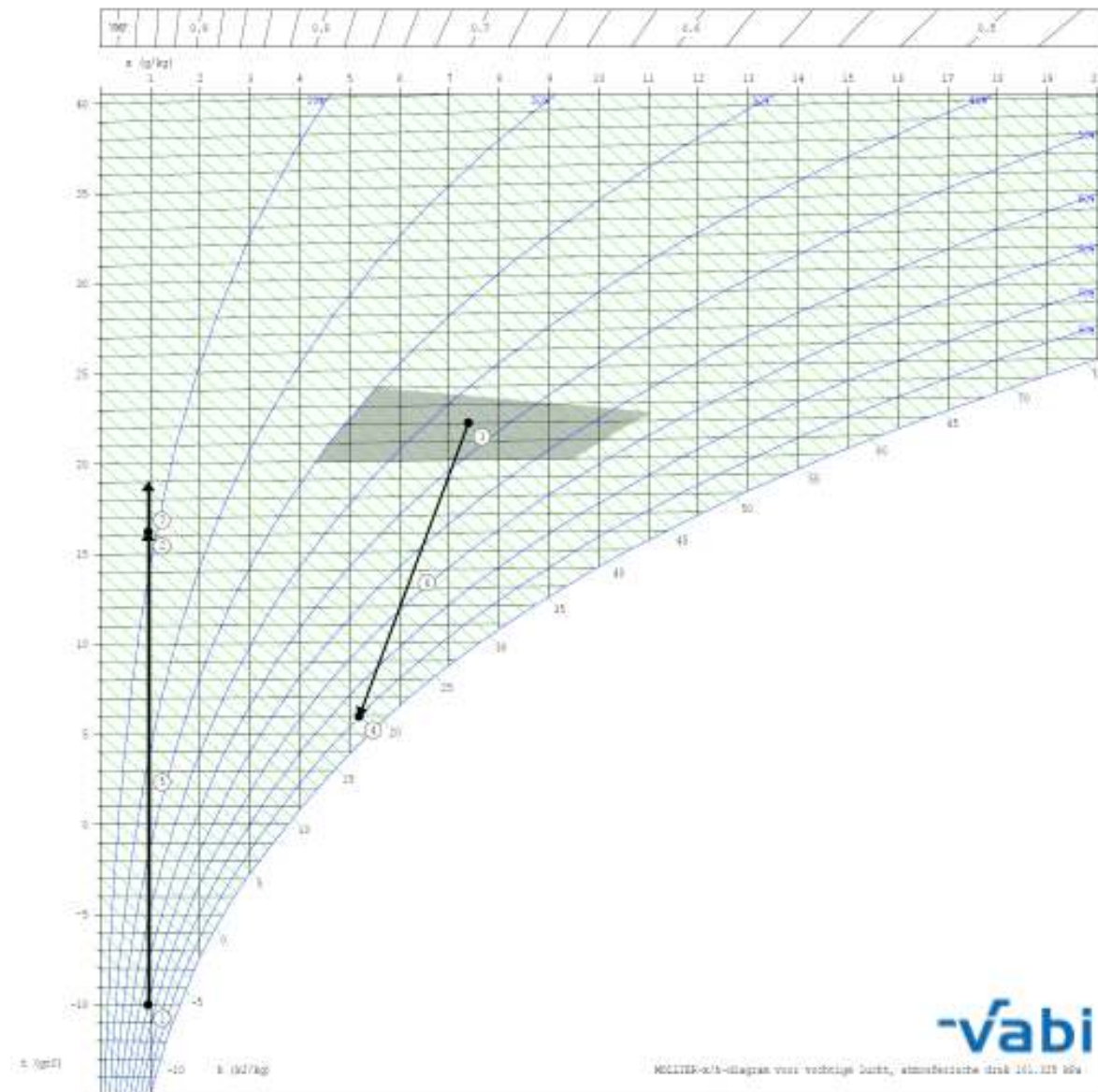
Mollier diagram C5. Systeem van Interland Techniek, Sabiana ENY

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	9.2	13.42
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	5	90
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2	-	-
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4	-	-
7. Temperatuurverhoging door verwarmingsbatterij naar 19 °C	-	-

Tabel C5. Luchtcondities systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY

Bron: Stephan Smits



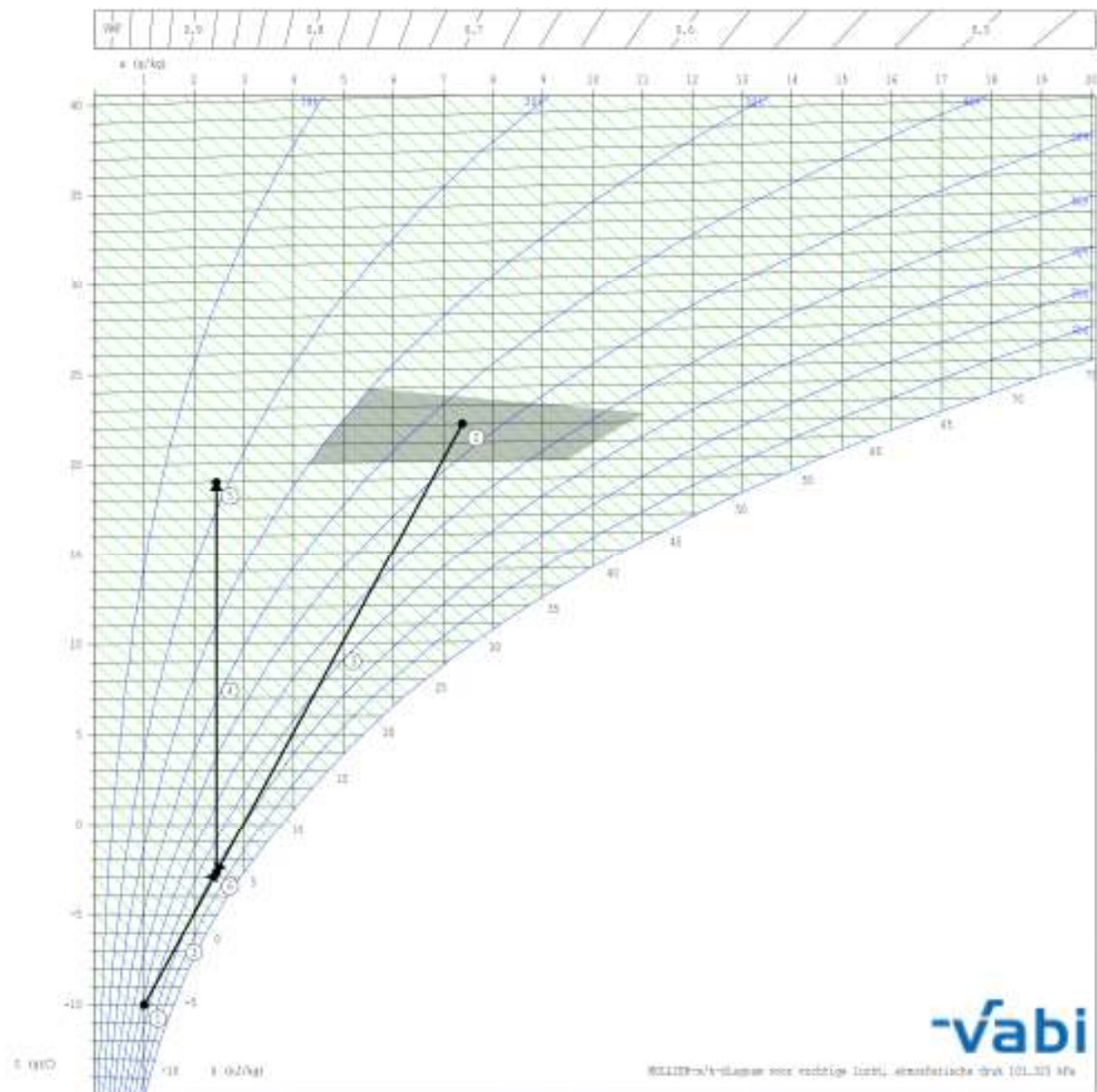
Mollier diagram C6. Systeem van ITHO, DCW school WTW

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	16.42	8.46
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	6	90
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2		
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4		
7. Temperatuurverhoging door verwarmingsbatterij naar 19 °C		

Tabel C6. luchtcondities systeem van ITHO - DCW school WTW

Bron: Stephan Smits



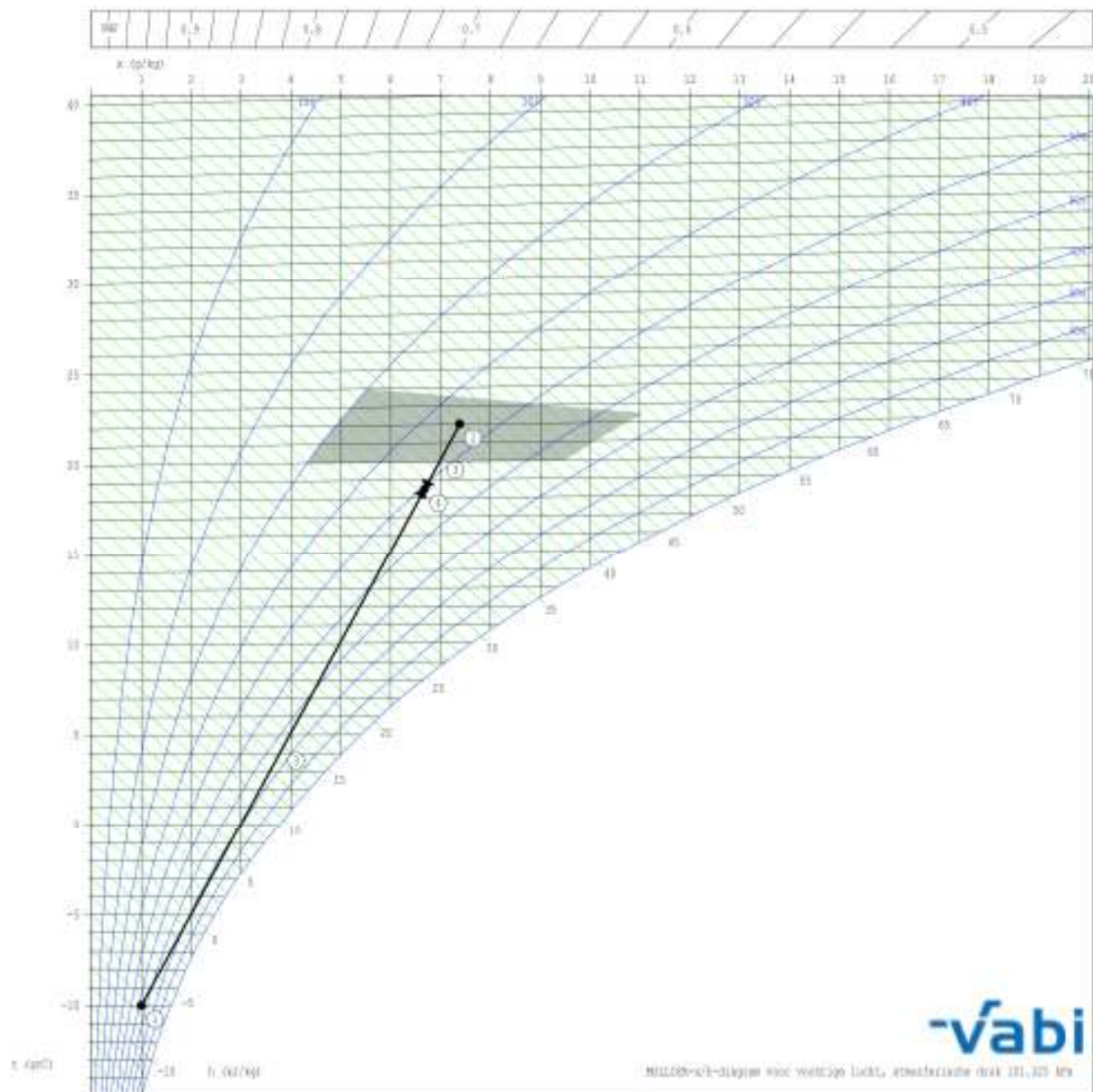
Mollier diagram C7. Systeem van Klimaatgroep Holland, het scholenconcept (25%)

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	62,58
2. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
3. Luchtmenging in de WTW van luchtconditie 1 en 2 naar 6	-	-
4. Temperatuurverhoging door verwarmingsbatterij naar 19 °C	-	-
5. Inblaastemperatuur	19	18,19
6. Mengconditie	-2,67	81,68

Tabel C7. luchtcondities systeem van Klimaatgroep Holland – Het scholenconcept (25%)

Bron: Stephan Smits



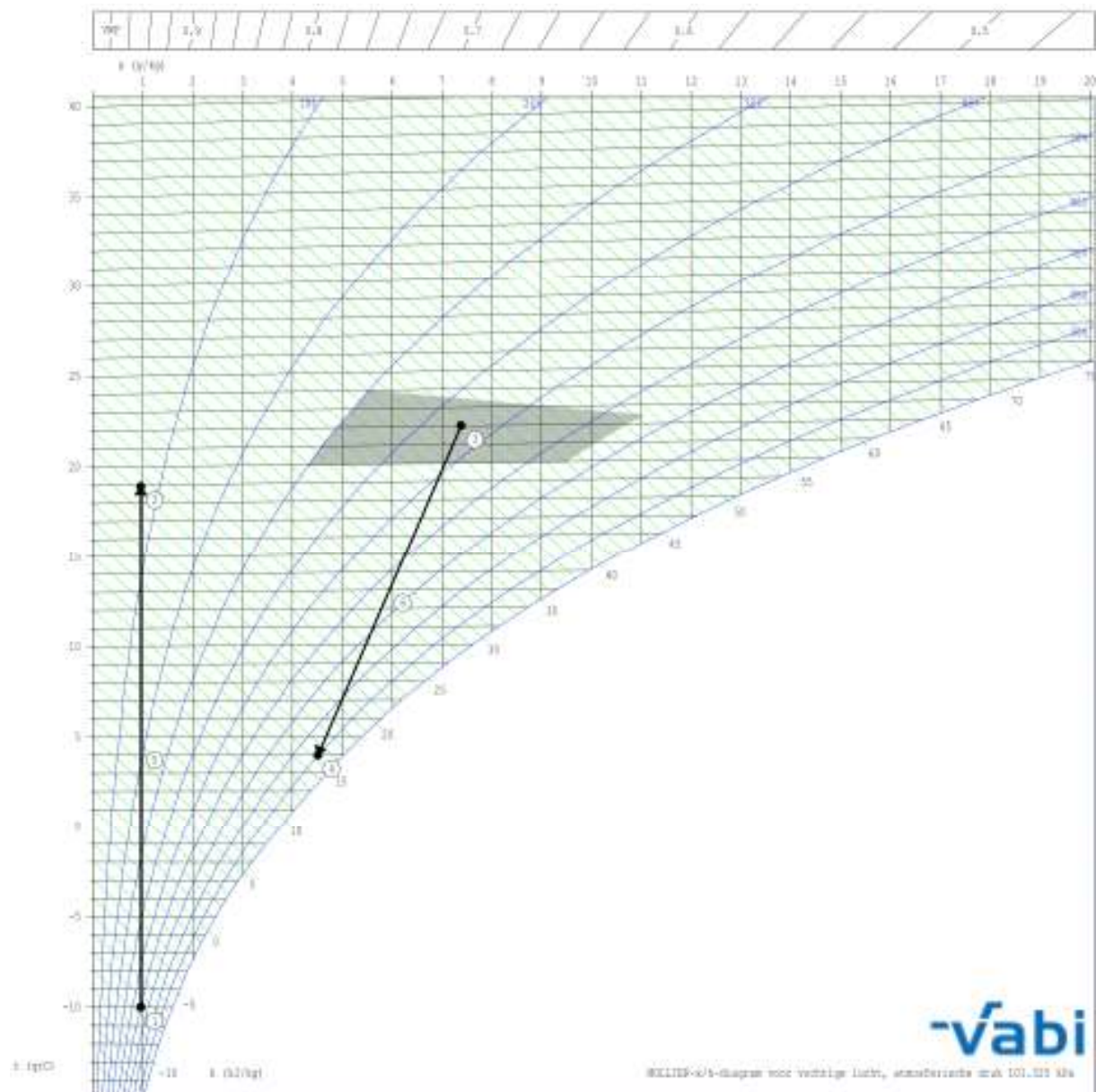
Mollier diagram C8. Systeem van Klimaatgroep Holland, het scholenconcept (90%)

Bron: Stephan Smits

	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Retourlucht/ ruimteconditie	22	45
3. Luchtmenging in de WTW van luchtconditie 1 en 2 naar 4	18,53	50,57
4. Uittrede WTW / inblaasconditie	18,53	50,57

Tabel C8. luchtcondities systeem van Klimaatgroep Holland – het scholenconcept (90%)

Bron: Stephan Smits



Mollier diagram C9. Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

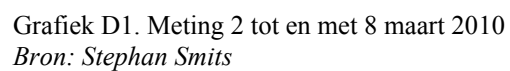
Bron: Stephan Smits

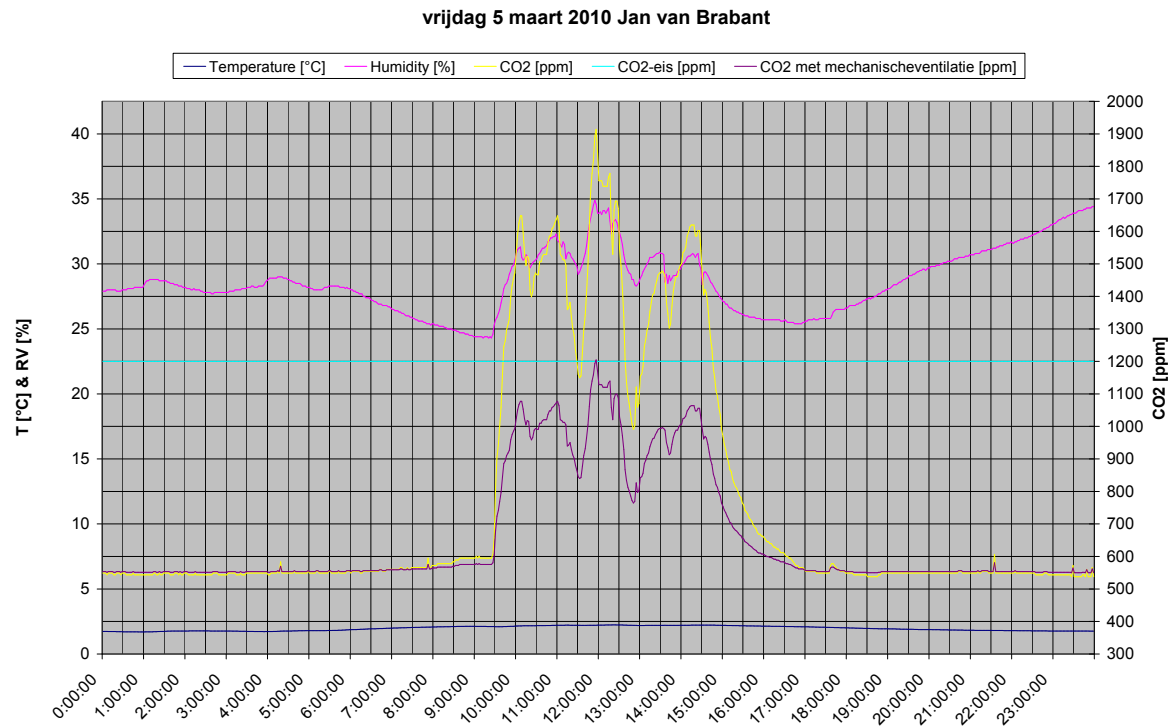
	T [°C]	RV [%]
1. Intrede WTW / Buitenlucht	-10	60
2. Uittrede WTW / inblaasconditie	19	7,12
3. Intrede WTW / Ruimteconditie	22	45
4. Uittrede WTW / naar buiten	4	90
5. Luchtverwarming in de WTW van luchtconditie 1 naar 2		
6. Luchtafgifte in de WTW van luchtconditie 3 naar 4		

Tabel C9. luchtcondities systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Bron: Stephan Smits

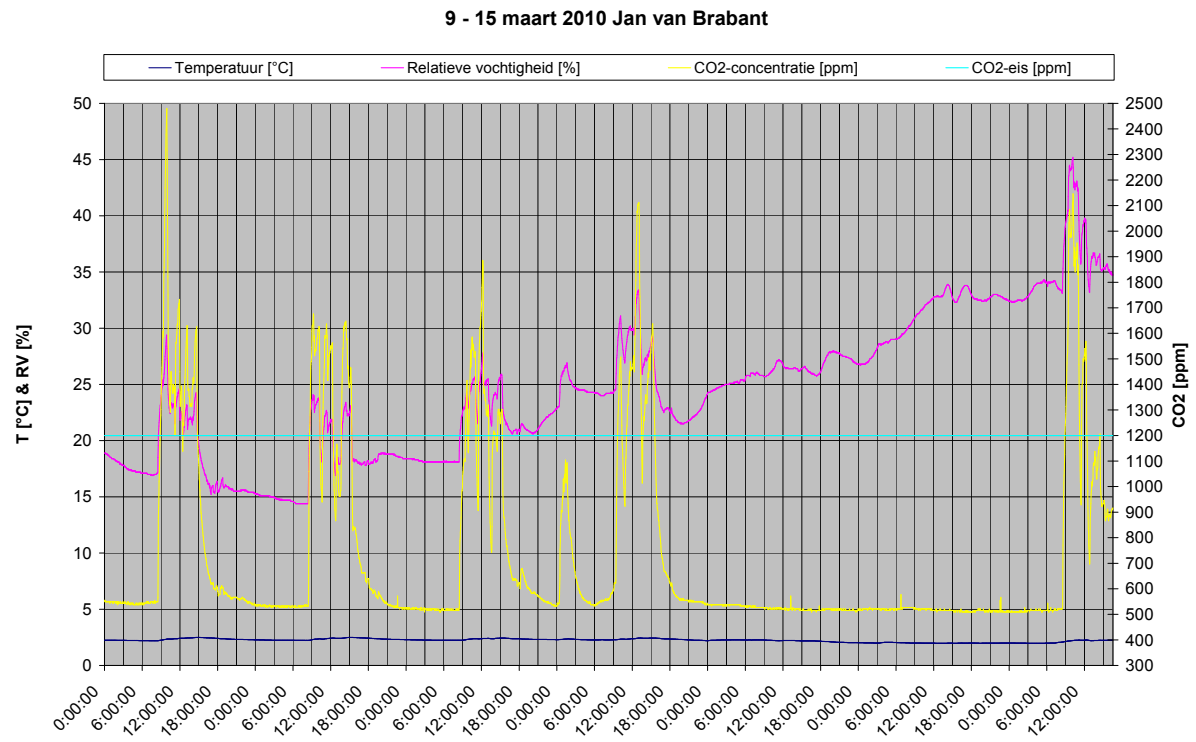
D. Grafieken





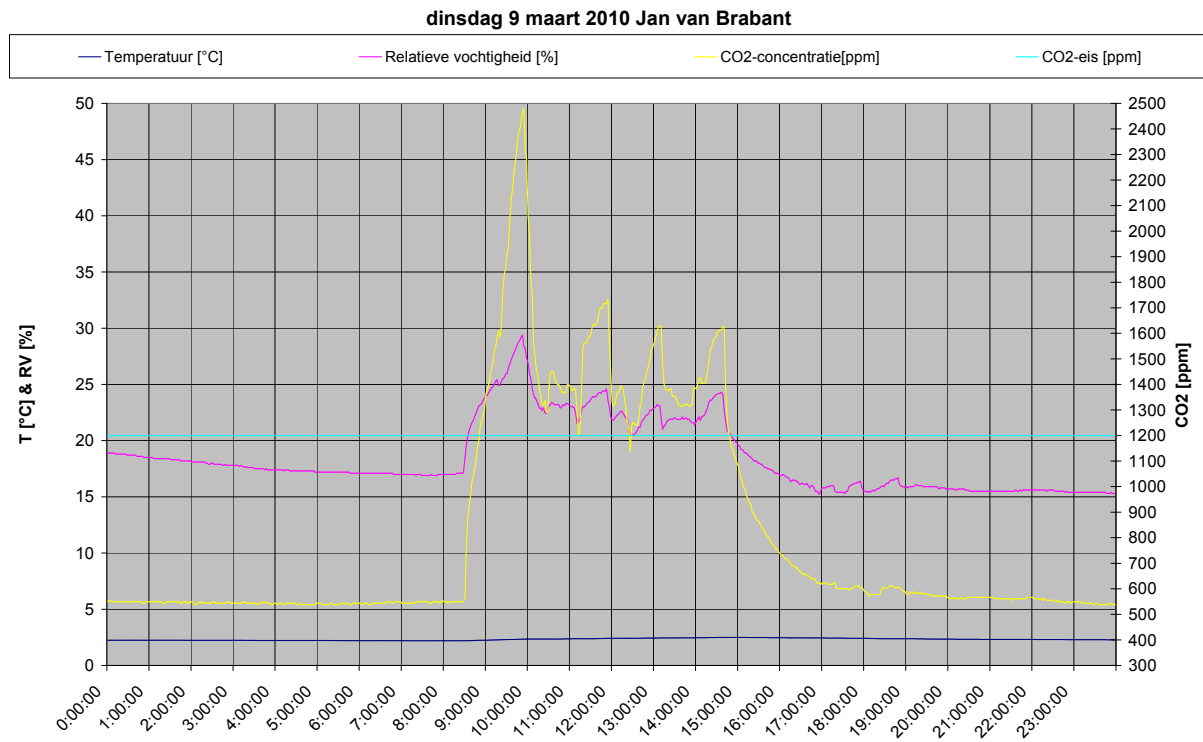
Grafiek D2. Meting vrijdag 5 maart 2010

Bron: Stephan Smits



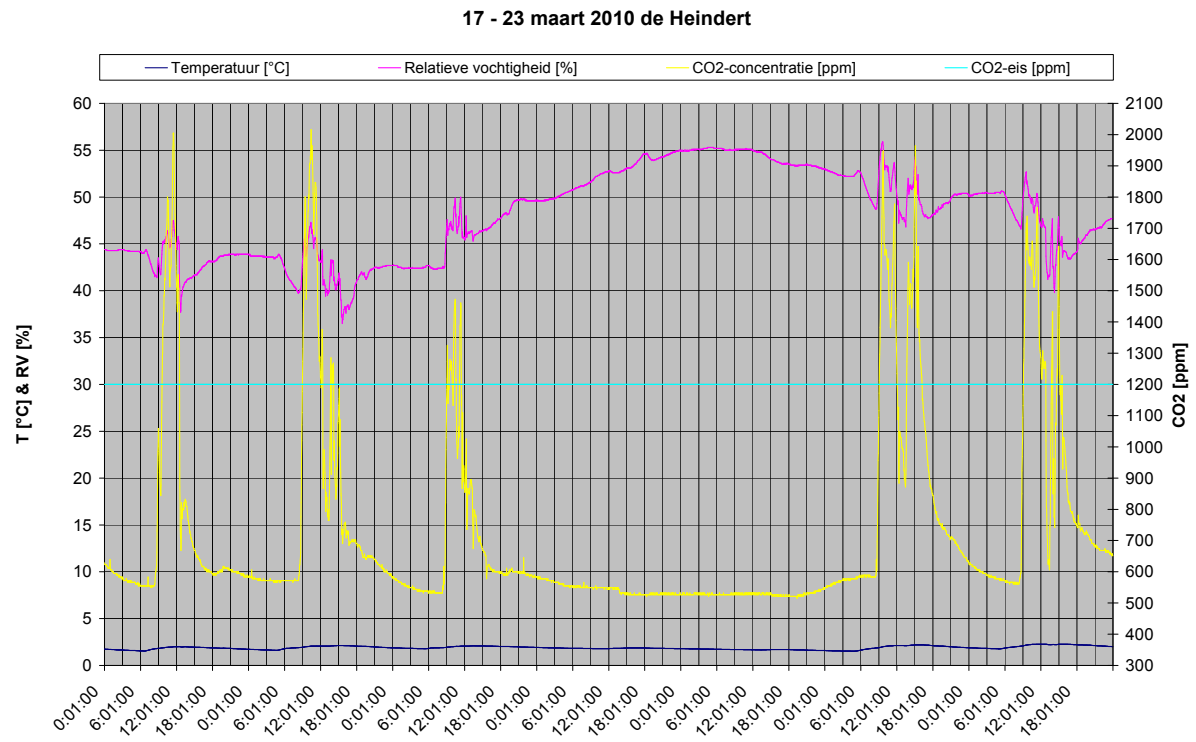
Grafiek D3. Meting 9 tot en met 15 maart 2010

Bron: Stephan Smits



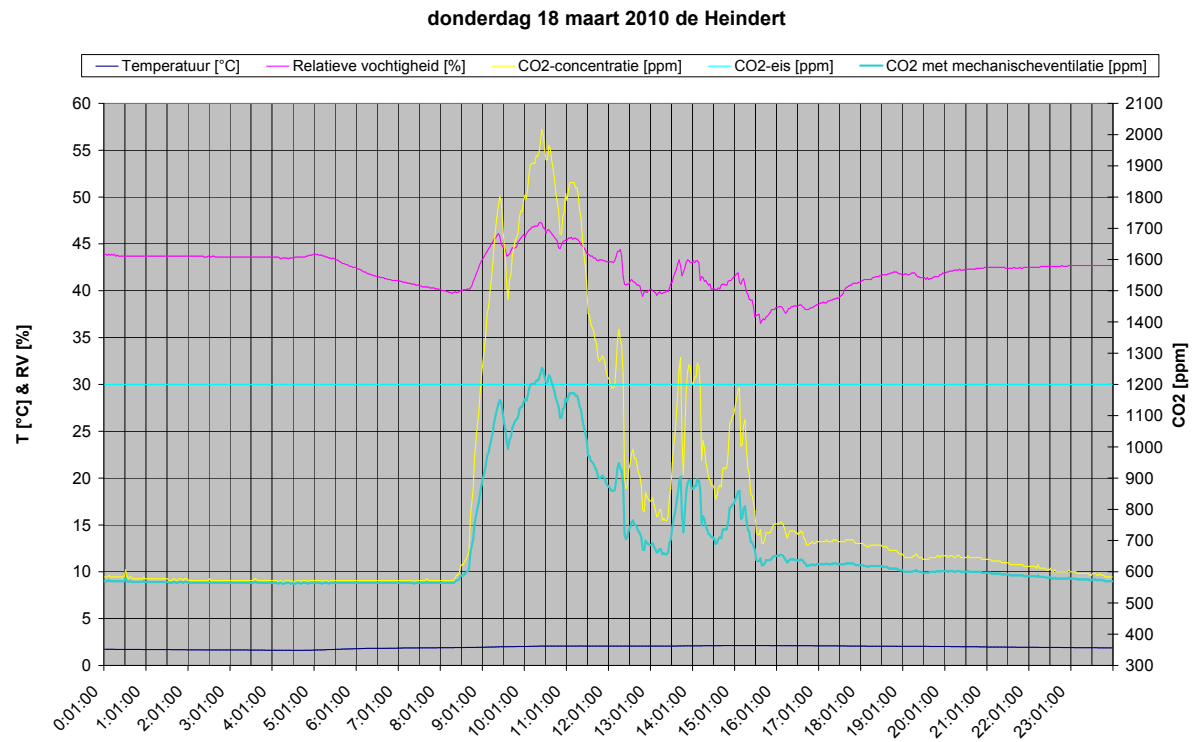
Grafiek D4. Meting dinsdag 9 maart 2010

Bron: Stephan Smits



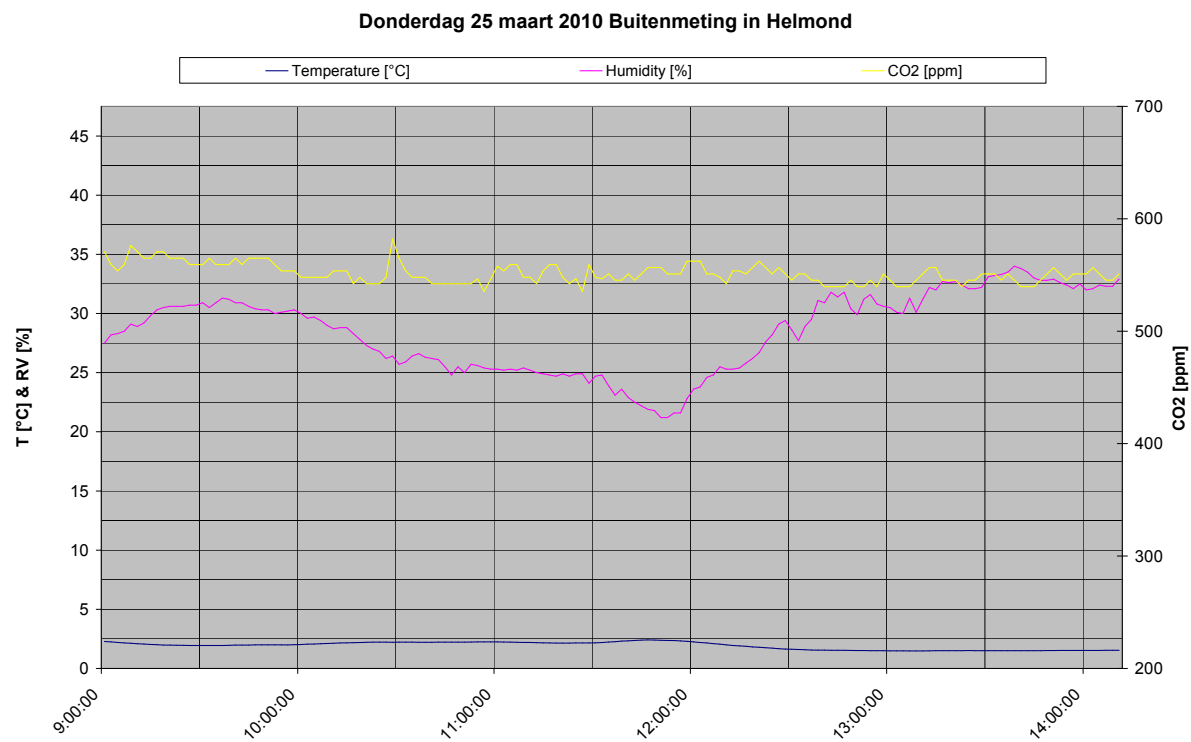
Grafiek D5. Meting 17 tot en met 23 maart 2010

Bron: Stephan Smits



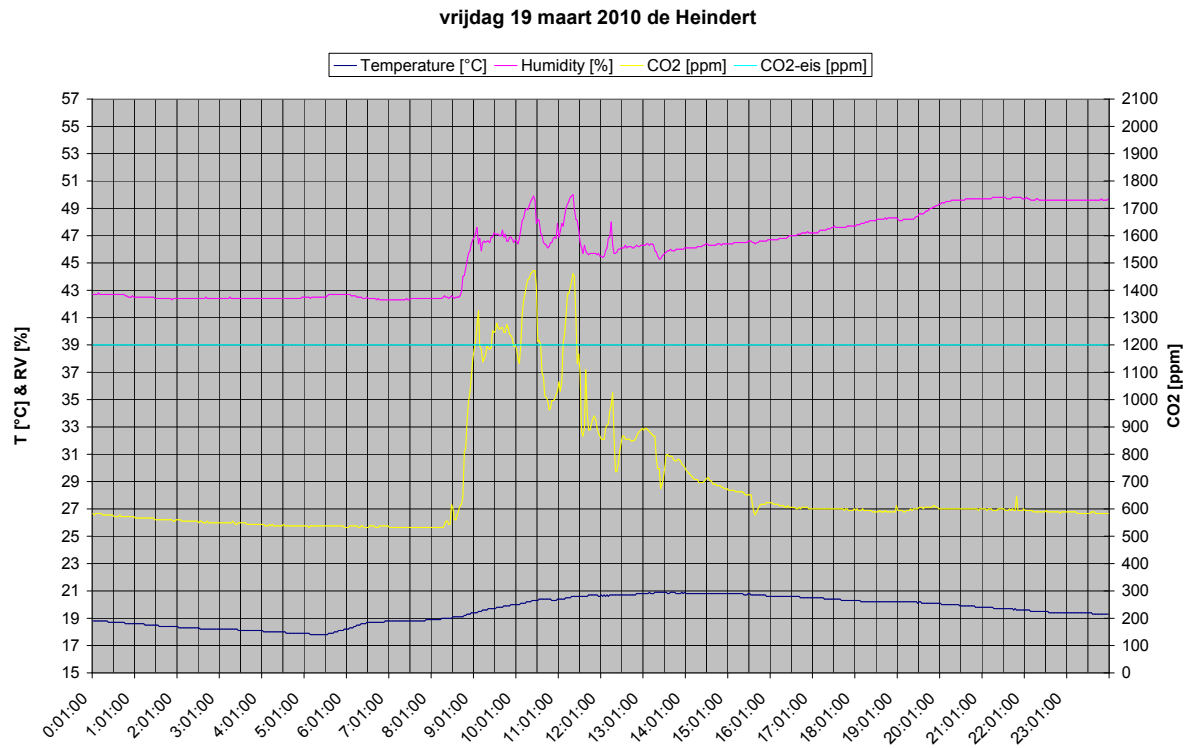
Grafiek D6. Meting donderdag 18 maart 2010

Bron: *Stephan Smits*



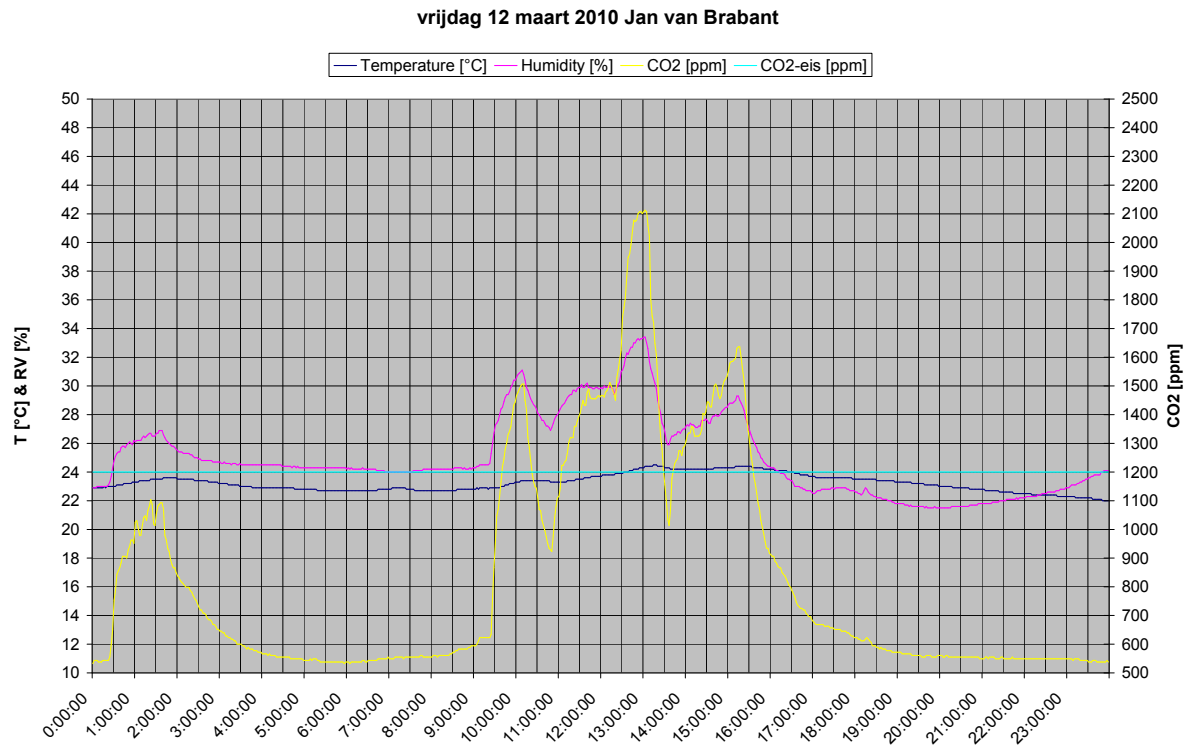
Grafiek D7. Meting donderdag 25 maart 2010

Bron: Stephan Smits



Grafiek D8. Meting vrijdag 19 maart 2010

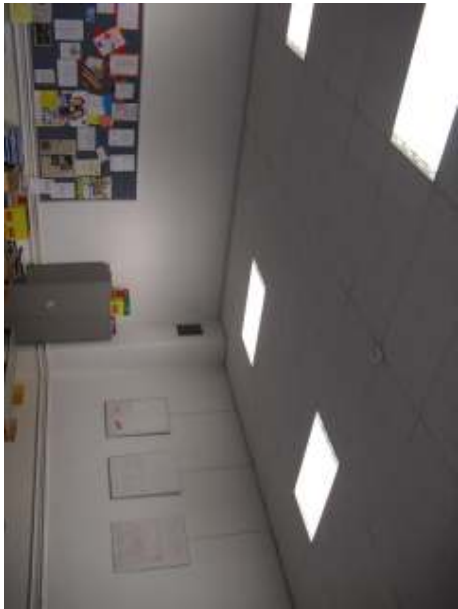
Bron: *Stephan Smits*



Grafiek D8. Meting vrijdag 12 maart 2010

Bron: Stephan Smits

E. Afbeeldingen onderwijslokaal 1

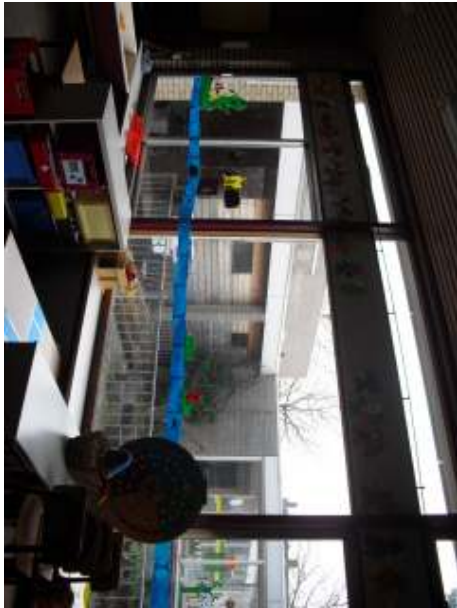




F. Afbeeldingen onderwijslokaal 2



G. Afbeeldingen onderwijslokaal 3



H. Kostprijs per luchtbehandelingsunit

H.1 Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit

Optioneel bij de HR-WTWschoolunit:

- Buitenopstelling
- Dakopstand geïsoleerd
- Ombouwset (aansluitingen horizontaal)
- Standenschakelaar
- Digitale klokmodule met alarmmelder
- CO₂ en temperatuur sensor (LCD + 3 leds)
- Drukverschilschakelaar
- Filters set
- Luchtverdeelset (2 toevoer- en 1 retourrooster)

Systeem van Auerhaan – HR-WTWschoolunit	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Luchtbehandelingsunit:	5.098,00
Kanalen:	733,00
Dempers:	Standaard
Plaatsing en in bedrijf stellen:	970,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	1938,00
Investering, bouwkundig	
Dakdoorvoer:	200,00
Filterset	45,00
Gasverbruik per jaar	n.v.t.
Elektriciteitsverbruik per jaar	56,65
Onderhoud per jaar	400,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H1. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

Bron: Stephan Smits

Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.

H.2 Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR

Optioneel bij de Renovent HR:

- ELAN verwarm-/koeltoestel
- 3 standen schakelaar
- CO₂-sensor
- Bypasscassette voor nachtventilatie

Systeem van Brink Climate Systems – Renovent HR	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch Luchtbehandelingsunit:	3.510,00
Kanalen:	500,00
Dempers:	400,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	600,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	1.585,00
Investering, bouwkundig Omkasting, geveldoorvoer:	600,00
Filterset	49,00
Gasverbruik per jaar	n.v.t.
Elektriciteitsverbruik per jaar	86,42
Onderhoud per jaar	280,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H2. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

H3 Systeem van GEA Happel Nederland – Campos

Optioneel bij de Campos:

- Trillingsdempers
- Gemotoriseerde jaloezieklep
- Flexibele kanaalaansluiting
- Deurbeschermingsrooster
- Filterset

Systeem van GEA Happel Nederland - Campos	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch Luchtbehandelingsunit:	6.205,00
Kanalen:	800,00
Dempers:	Standaard
Plaatsing en in bedrijf stellen:	1.100,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	480,00
Investering, bouwkundig Dakdoorvoer:	450,00
Filterset	61,00
Gasverbruik per jaar	n.v.t.
Elektriciteitsverbruik per jaar	48,01
Onderhoud per jaar	400,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H3. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

H.4 Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY

Optioneel bij de Sabiana ENY:

- 3 standen schakelaar
- Naverwarmingsbatterij
- Centrale toerenregeling

Systeem van Interland Techniek – Sabiana ENY	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Luchtbehandelingsunit:	4.200,00
Omkasting/kanalen:	Standaard
Dempers:	Standaard
Plaatsing en in bedrijf stellen:	360,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	221,00
Investering, bouwkundig	
Geveldoorvoer:	700,00
Filterset	50,00
Gasverbruik per jaar	70,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	56,46
Onderhoud per jaar	300,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H4. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

H.5 Systeem van ITHO – DCW school WTW

Optioneel bij de DCW school WTW:

- Ophangbeugels verstelbaar
- Gevelrooster
- Paneel achterzijde optie bij plaatsing vanaf de muur
- Naverwarmer
- Filterset
- CO₂-sensor
- Standenschakelaar

Systeem van ITHO – DCW school WTW	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	
Luchtbehandelingsunit:	4.870,00
Kanalen:	300,00
Dempers:	265,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	450,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	438,00
Investering, bouwkundig	
Geveldoorvoer:	500,00
Filterset	52,00
Gasverbruik per jaar	3,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	48,01
Onderhoud per jaar	310,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H5. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

*Bron: Stephan Smits**Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.*

H.6 Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) – Schoolventilatie

Optioneel bij de Schoolventilatie:

- Alles is standaard aanwezig voor wat de unit te bieden heeft.

Systeem van Klimaatgroep Holland (Velu ventilatietechniek) - Schoolventilatie	Prijs in euro [€]
Investering, installatietechnisch	7.500,00
Luchtbehandelingsunit:	Standaard ¹
Kanalen:	Standaard
Dempers:	1.300,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	N.v.t.
Overig, zie bovenstaande lijst:	
Investering, bouwkundig	
Geveldoorvoer:	350,00
Filterset	57,00
Gasverbruik per jaar	43,00
Elektriciteitsverbruik per jaar	48,01
Onderhoud per jaar	342,00
Levensduur	15 jaar

Tabel H6. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

Bron: Stephan Smits

Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.

1. Kanalen en roosters standaard bij luchtbehandelingsunit

H7 Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek) – SCHOOLAIR-B

Optioneel bij de SCHOOLAIR-B:

- Gevelrooster
- Naverwarmer
- Filterset
- CO₂-sensor
- Standenschakelaar

Systeem van Trox Technik (Merford Klimaattechniek)	Prijs in euro [€] ¹
Investering, installatietechnisch	10.500,00
Luchtbehandelingsunit:	150,00
Kanalen:	420,00
Dempers:	1.500,00
Plaatsing en in bedrijf stellen:	438,00
Overig, zie bovenstaande lijst:	
Investering, bouwkundig	
Geveldoorvoer:	1.800,00
Filterset	120,00
Gasverbruik per jaar	n.v.t.
Elektriciteitsverbruik per jaar	48,01
Onderhoud per jaar	450,00
Levensduur	20 jaar

Tabel H.7. Kostenprijs bestaande bouw – Natuurlijke ventilatie

Bron: Stephan Smits

Toelichting berekende waarde in bovenstaande tabel zie hoofdstuk 4 Berekeningen.

1. Prijs van drie luchtbehandelingsunits

I. Uitvoer transmissieberekening

+-----+			
HUISMAN EN VAN MUIJEN BV			
=====			
Programma	: VABI -	WARMTEVERLIESBEREKENING	VA101 - Versie 6.70
Projectnummer:	Frisse Scholen		Pagina 6
Projectnaam	: leslokaal	oudbouw voortgezet onderw	Gebouw 1
Technicus	: S. Smits		
Datum	: 18 mei 2010	Tijd : 13:17:58	
Omschrijving : Afstudeer opdracht			

Warmteverliesberekening volgens ISSO 53 (utiliteitsgebouwen)

TOTAALOVERZICHT									
Nr	Omschrijving	Temp	Trans.	Vent.	Opwrm.	Totaal Kengetal.			
		[grC]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	W/m2	W/m3	
1	Lokaal oudbouw voort	20.0	5516	3733	991	10240	188	54	
Totalen [Watt]			5516	3733	991	10240	188	54	

Bruto vloeroppervlakte gebouw	56.0 m2	(verwarmd	56.0 m2)
Bruto inhoud gebouw	224.0 m3	(verwarmd	224.0 m3)

+-----+			
HUISMAN EN VAN MUIJEN BV			
=====			
Programma	: VABI -	WARMTEVERLIESBEREKENING	VA101 - Versie 6.70
Projectnummer:	Frisse Scholen		Pagina 6
Projectnaam	: leslokaal nieuwbouw voortgezet onde	Gebouw	1
Technicus	: S. Smits		
Datum	: 18 mei 2010	Tijd	: 13:15:57
Omschrijving : Afstudeer opdracht			

Warmteverliesberekening volgens ISSO 53 (utiliteitsgebouwen)

TOTAALOVERZICHT								
Nr	Omschrijving	Temp	Trans.	Vent.	Opwrm.	Totaal	Kengetal.	
		[grC]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	W/m2	W/m3
1	lokaal	20.0	1374	476	824	2674	51	21
Totalen [Watt]			1374	476	824	2674	51	21

Bruto vloeroppervlakte gebouw	53.6 m2	(verwarmd	53.6 m2)
Bruto inhoud gebouw	144.7 m3	(verwarmd	144.7 m3)

+-----+			
HUISMAN EN VAN MUIJEN BV			
=====			
Programma	: VABI -	WARMTEVERLIESBEREKENING	VA101 - Versie 6.70
Projectnummer:	Frisse Scholen		Pagina 7
Projectnaam	: leslokaal oudbouw basis onderwijs.P	Gebouw	1
Technicus	: S. Smits		
Datum	: 18 mei 2010	Tijd	: 13:17:11
Omschrijving : Afstudeer opdracht			

Warmteverliesberekening volgens ISSO 53 (utiliteitsgebouwen)

TOTAALOVERZICHT								
Nr	Omschrijving	Temp	Trans.	Vent.	Opwrm.	Totaal	Kengetal.	
		[grC]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	[Watt]	W/m2	W/m3
1	lokaal	20.0	6304	6590	947	13841	212	83
Totalen [Watt]			6304	6590	947	13841	212	83

Bruto vloeroppervlakte gebouw	67.0 m2	(verwarmd	67.0 m2)
Bruto inhoud gebouw	187.6 m3	(verwarmd	187.6 m3)

J. Uitvoer temperatuuroverschrijdingsberekening

Programma : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VAl14 - Versie 2.29
 Projectnummer: Frisse Scholen Pagina 1
 Projectnaam : leslokaal oudbouw voortgezet onderw Gebouw 1
 Technicus : S. Smits
 Datum : 13 juli 2010 Tijd : 13:55:48
 Omschrijving : Afstudeer opdracht

UITVOERRESULTATEN IN VERTREK 1 (Ruimte : 1)

Overschrijdingen bij 25.5 gr.C. : 219 uur en bij 28.0 gr.C. : 62 uur
 Maximum temperatuur : 30.4 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme : 1.24 Met.
 Clo-waarde : 0.70 / 0.90
 Relatieve luchtsnelheid : 0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 359 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	T>40	
0	54	205	92	92	155	901	290	207	164	146	97	62	47	30	27	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAXIMAAL VERBRUIKTE VERMOGENS

Warmtelevering tgv inblaasluicht in vertrek 1 op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering tgv inblaasluicht in vertrek 1 op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt

Maximaal verbruikte vermogens in centrale luchtbehandelingsinstallatie

Warmtelevering door heater op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering door koeler (voelbaar+latent) op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering door ontvochtiging (voelbaar+latent) op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt

Programma : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VAl14 - Versie 2.29
 Projectnummer: Frisse Scholen Pagina 1
 Projectnaam : leslokaal nieuwbouw voortgezet onde Gebouw 1
 Technicus : S. Smits
 Datum : 13 juli 2010 Tijd : 13:49:46
 Omschrijving : Afstudeer opdracht

UITVOERRESULTATEN IN VERTREK 1 (Ruimte : 1)

Overschrijdingen bij 25.5 gr.C. : 350 uur en bij 28.0 gr.C. : 61 uur
 Maximum temperatuur : 30.0 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme : 1.24 Met.
 Clo-waarde : 0.70 / 0.90
 Relatieve luchtsnelheid : 0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 559 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	T>40	
0	26	30	44	91	446	246	211	327	613	324	193	118	80	41	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAXIMAAL VERBRUIKTE VERMOGENS

Warmtelevering tgv inblaasluht in vertrek 1 op 19- 8 om 18 uur : 276. Watt
 Koudelevering tgv inblaasluht in vertrek 1 op 13- 3 om 14 uur : -1846. Watt

Maximaal verbruikte vermogens in centrale luchtbehandelingsinstallatie

Warmtelevering door heater op 5- 1 om 9 uur : 4845. Watt
 Koudelevering door koeler (voelbaar+latent) op 22- 8 om 14 uur : -1402. Watt
 Koudelevering door ontvochtiging (voelbaar+latent) op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt

Programma : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VAl14 - Versie 2.29
 Projectnummer: Frisse Scholen Pagina 1
 Projectnaam : leslokaal oudbouw basis onderwijs.P Gebouw 1
 Technicus : S. Smits
 Datum : 13 juli 2010 Tijd : 13:53:27
 Omschrijving : Afstudeer opdracht

UITVOERRESULTATEN IN VERTREK 1 (Ruimte : 1)

Overschrijdingen bij 25.5 gr.C. : 341 uur en bij 28.0 gr.C. : 132 uur
 Maximum temperatuur : 33.6 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme : 1.24 Met.
 Clo-waarde : 0.70 / 0.90
 Relatieve luchtsnelheid : 0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen : 0 uren
 Gewogen overschrijdingen : 935 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	T>40	
0	0	0	0	0	13	18	26	7	28	5	19	14	5	11	4	8	3	7	0	4	1	0	0	0	0	0	0

MAXIMAAL VERBRUIKTE VERMOGENS

Warmtelevering tgv inblaasluft in vertrek 1 op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering tgv inblaasluft in vertrek 1 op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt

Maximaal verbruikte vermogens in centrale luchtbehandelingsinstallatie

Warmtelevering door heater op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering door koeler (voelbaar+latent) op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt
 Koudelevering door ontvochtiging (voelbaar+latent) op 0- 0 om 0 uur : 0. Watt