

Ventileren van (oudere) Woningen

Mogelijkheden, verdere uitleg en begrippen



Door ing. Sjoerd Nienhuys

Woonenergie adviseur

Maart 2026, met verklarende woordenlijst als annexe.

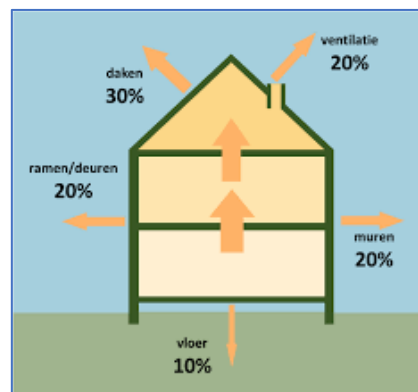
Begrippen: Ademen, Afzuiging, Balansventilatie, Bouwbesluit, Circulatiestand, CO₂-sturing, Condensatie, COP, Dauw, Decentrale ventilatie, Douche, Droge lucht, Emissie, Fijnstof, Gezondheidsraad, HEPA filter, HR-CV, Kaarsen, Kamerplanten, Kierdichting, Koken, Koolmonoxide, Koudebrug, Kruipruimte, Lawaai, Luchten, Luchtfilter, Motorloze afzuiging, Openhaard, Pellet-kachel, Radongas, Schimmel, Schoorsteenkanaal, Spuitbus, Subsidie, Stofzuiger, Ventileren, VOC-VOS, Warmtecapaciteit, Woningvolume, WTW, Zuurstof.

Voorwoord.

Dit document is een verzameling van algemeen bekende informatie van verschillende websites (overheid, adviesorganen en commercieel) en Vakmedia literatuur, uitgebreid met praktijkinformatie die is opgedaan tijdens energieadvies bij woningeigenaren en huurders.

In sommige informatiebronnen wordt aangegeven dat door ventilatie ongeveer 20% van de warmte-energie uit een woning verdwijnt, reden om kierdichting¹ toe te passen en tocht te vermijden.

Die 20% warmteverlies zou best kunnen, maar is afhankelijk van erg veel factoren zoals woninggrootte, aantal bewoners en dieren, actieve of geen actieve mensen, kookmethode, was-drogen, openhaard-gebruik, isolatiewaarde van de woning met beglazing, regelbaarheid van het ventilatiesysteem, wel of geen WTW op ventilatie, zonesturing ventilatie, CO₂ sturing, aanwezigheid-sensors, luchtvochtigheid, binnentemperatuur en de locatie van de woning².



Het is erg belangrijk dat een woning een gezond binnenklimaat heeft en op de juiste manier ventileren (lucht verversen) is dan belangrijk. Een mechanisch ventilatiesysteem zonder CO₂-regeling of warmteterugwinning systeem (WTW) zal het warmteverlies bij ventileren sterk vergroten.

Zonder ventilatie van de woning vermindert de luchtkwaliteit en kan op de binnenzijde van een matig geïsoleerde buitenschil van het gebouw vocht condenseren.³

De mate van ventilatie moet primair bepaald worden op basis van het CO₂-gehalte (PPM), luchtvochtigheid, en koolmonoxide gehalte (CO) van de binnen-lucht.

Daarnaast kan ook het fijnstofgehalte (PPM), formaldehyde gehalte (HCHO) en Totaal Vluchtige Organische Stoffen (TVOC) van de binnen-lucht gemeten worden.

Bij woningisolatie, renovatie of verduurzaming is het belangrijk dat in een vroeg stadium wordt gekeken naar de verbetering van de ventilatie, of hoe dat op langere termijn goed kan worden ingepast. In veel woningen worden eerst de ruiten vernieuwd met HR++ om er dan achter te komen dat men vergeten is om ventilatieroosters boven op de ruiten te plaatsen, terwijl een investering om een balansventilatie systeem met WTW aan te brengen nog te ver weg ligt.

Voor meer informatie over woningisolatie en verduurzamen zie www.nienhuys.info

¹ Kierdichting is alleen relevant wanneer men een mechanisch ventilatiesysteem heeft. Bij natuurlijke ventilatie zijn de kieren van de enige bron van luchtverversing. Dat kost wel wat warmte in de winter, maar is essentieel voor een gezond binnenklimaat. De maatregel "kierdichting" mag dus alleen worden toegepast wanneer er een balansventilatie systeem is (gecontroleerd evenveel lucht erin als eruit). Bij een mechanische ventilatie wordt er constant warme lucht afgeblazen, terwijl er door de raam ventilatie-openingen koude lucht binnen komt.

² Zie ook Bouwbesluit over CO₂-meters:

https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012_reg/hoofdstuk-3/artikel-3.5

³ Om dit te voorkomen moet er ook altijd aan de warme kant van de constructie een dampdichte of dampremmende folie worden toegepast. Metalen delen die in een isolerende laag zitten kunnen een warmtelek vormen, waarop condensatie optreedt. Vochtige en koude bouwmaterialen en oppervlaktes absorberen warmte die aan de lucht in de woning wordt onttrokken. Aanvullend kunnen op de koelere en vochtige oppervlaktes (bij te weinig ventilatie) ook schimmels gaan groeien.

Inhoud

Voorwoord.....	2
Hoofdstuk 1. Inleiding.....	4
1.1. Energieverlies	5
Hoofdstuk 2. Oudere woningen	6
2.1 Kierdichting	7
2.2. Bouwbesluit luchtverversing.....	9
2.3. Relatieve luchtvochtigheid	11
Hoofdstuk 3. Verschillende ventilatiemodellen	14
3.0. Ventilatiesystemen A, B, C en D.....	14
3.1. Het ventilatiesysteem A: natuurlijke toevoer en afvoer	15
3.2. Gebruik van de warmte van de mechanische ventilatie.	17
3.3. Het ventilatiesysteem B, mechanische aanvoer, overdruk met natuurlijke afvoer.....	18
3.4. Ventilatiesysteem C, mechanische afvoer, natuurlijke aanvoer (raamroosters)	18
3.4.a De Brink Indoor Mixfan	20
3.4.b. De Zehnder Overflow Technology Ventilator.	21
3.5.a De Hornbach Marley of Awento HRV100P.....	22
3.5.b S&P Respiro	22
3.5.c. De Zehnder ComfoAir 70 Alu-Alu	22
3.5.d. Brink Renovent Sky 150	23
3.5.e. De Fresh-r	23
3.4.f. De Jaga Oxygen2	23
3.4.g. De ClimaRad 2.0	23
3.6. Ventilatiesysteem D2, mechanische toe- en afvoer	24
Hoofdstuk 4. Rookmelders, CO₂-melder en CO-melders.....	26
Hoofdstuk 5. Ventilatie van woningen en bij renovatie.....	27
5.1. Enkele voorbeelden	27
Hoofdstuk 6. Wasemkap fornuis	32
Annexe: Verklarende woordenlijst.....	38

Hoofdstuk 1. Inleiding.

Met ventileren worden in het dagelijkse taalgebruik vaak **twee verschillende dingen** bedoeld. Het ene is lucht **verversen**, en het andere is lucht **verplaatsen**.



Figuren 1. Advertenties van een tafemodel en staande modellen.

Dit zijn “ventilatoren” en (HEPA) luchtfilters en luchtkoelers. Deze **verversen de lucht niet**, maar laten de lucht wel door de ruime circuleren. HEPA-filters halen hoofdzakelijk het fijnstof uit de lucht, maar veranderen niet het zuurstofgehalte of het CO₂-gehalte of de luchtvochtigheid.

Door deze dubbele betekenis is het voor de woningeigenaar niet altijd duidelijk dat bijvoorbeeld een **airco** wel ‘ventileert’ maar **geen lucht ververst**.

De eigenaar van een ruime jaren 1900 woning heeft astma en daardoor veel last in de herfst en de winter van de rook van de vele houtkachels die de burens stoken. De woningeigenaar had een airco besteld en aangegeven dat deze moest ventileren. Bij het bestuderen van het apparaat constateerde ik dat het een gewone airco was zonder luchtverversing, maar de eigenaar beweerde bij hoog en laag dat de airco wel ventileerde. Immers, na de plaatsing had de installateur gedemonstreerd dat er verschillende ventilatiestanden waren zoals laag, hoog en zwaaien.

Als men niet naast een drukke snelweg⁴ of in de buurt van een vervuilende industrie⁵ woont is lucht versen nuttig om een gezond binnenklimaat te hebben en daarmee de lucht in huis schoon te houden. Het versen kan door spuien en luchten en een heel klein beetje door kamerplanten⁶.

Bij ventileren/versen is er **toevoer van buitenlucht** en de **afvoer van de binnenlucht**.⁷ Dit kan met verschillende snelheden, tijdelijk onderbroken of continu. Men kan raampje-open-raampje dicht doen, en via permanente natuurlijke ventilatie of mechanische ventilatie.

⁴ Langs de drukke autoweg is er constant luchtvervuiling en neerslag van fijnstof. In dat geval is ventileren zonder luchtfilter **niet aan te raden**. Er zijn uitstekende fijnstoffilters en HEPA-filters op de markt.

⁵ Wanneer er grote luchtvervuiling ontstaat wordt er tegenwoordig een algemeen (telefoon) alarm afgegeven zodat u voor een bepaalde periode alle ramen moet sluiten.

⁶ Zie de woordenlijst. Hier wordt duidelijk gemaakt dat kamerplanten slechts een hele kleine bijdrage hebben.

⁷ Een duidelijke video is beschikbaar op: <https://alphaventilatie.nl/ventilatie/ventileren-of-luchten/>

De ventilatie kan met CO₂-sturing (meer ventileren wanneer het CO₂-gehalte in de woning te hoog is)⁸ of met ventileren met warmteterugwinning (WTW).

Ventileren in de zin van lucht-verversen kan ook met spuien. Voor een beperkte periode worden de ramen en deuren tegen elkaar opengezet. Door aan de beide kanten van de woning een raam open te zetten zal het doorwaaien en daarmee dus sneller luchten.

Figuur 2. Door gedurende tien minuten de ramen of deuren van een slaapkamer te openen zal die kamer goed gelucht worden. Voor permanent ventileren zijn roosters op het glas of in de muur mogelijk. Vooral 's nachts is permanent ventileren van een kleine slaapkamer erg belangrijk om het vocht kwijt te raken en zuurstof binnen te laten.



1.1. Energieverlies

Kort luchten in de winter geeft niet veel energieverlies. In de winter vraag-gestuurd ventileren zoals bij de kookluchtafvoer in de keuken (een uurtje), na het douchen of toiletgebruik geeft ook slechts beperkt energieverlies. Dat komt, omdat de warmtecapaciteit van lucht klein is in vergelijking met de warmtecapaciteit van de zware constructiematerialen in de woning.

In de winter levert constant ventileren met een mechanische ventilatie heel veel energieverlies op, want al die afgevoerde warme lucht wordt dan vervangen door koude buitenlucht die moet worden opgewarmd⁹. Een mechanische ventilatie moet dus goed geregeld kunnen worden en eventueel afgezet. Zonder goede volumeregeling levert een mechanische ventilatie een lager energielabel op.

Op een mechanisch ventilatiesysteem kan een CO₂- of een aanwezigheidssensor¹⁰ worden geplaatst. Wanneer er niemand in de woning beweegt/loopt, gaat de ventilatie op de laagste stand. Een aanwezigheidssensor is echter geen goed apparaat voor de slaapkamer waar men stilligt, daar moet dan een CO₂-gestuurd ventiel komen. Als de slaapkamer niet wordt gebruikt gaat het ventiel dicht. Een CO₂-sturing opent de klep (ventiel) en regelt het ventilatorvolume afhankelijk van de hoeveelheid CO₂ die zich in de kamerlucht bevindt. Hierdoor wordt de afvoer/aanvoer geregeld en wordt er geen onnodig grote hoeveelheid warme lucht afgevoerd.

De beste ventilatiemethode is met warmteterugwinning (WTW), gecombineerd met CO₂-sturing en zoneregeling. De warmte wordt uit de afgevoerde lucht gehaald en daarmee wordt de aangevoerde lucht opgewarmd. Deze hebben een energierendement van meer dan 95%; er hoeft dan slechts voor 5% bij-verwarmd te worden. Er zijn centrale systemen (op zolder met leidingen), maar ook decentrale systemen per kamer (b.v. Climarad).

⁸ Bij te weinig luchtverversing kunnen klachten zoals hoofdpijn en slecht slapen ontstaan. CO₂ is het resultaat van onze uitademing en verbranding van zuurstof. Het CO₂-gehalte in parts per micron (PPM) is makkelijker meetbaar dan het zuurstofgehalte in de lucht (normaliter ongeveer 21%).

⁹ Bij het opwarmen van koude buitenlucht wordt deze lucht aanzienlijk droger. Wanneer men dan luchtbevochtigers installeert dan verbruiken die extra energie.

¹⁰ Dat zijn twee verschillende dingen. In een slaapkamer is een zone-CO₂-sensor aanbevolen.

Hoofdstuk 2. Oudere woningen

De meeste oudere woningen werden voor 1970 gerealiseerd zonder thermische isolatie in de spouwmuur. Na de oliecrisis van begin 1970 en het Rapport van de Club van Rome is er meer aandacht voor thermische isolatie voor de vermindering van het energiegebruik en daarmee het terugdringen van de CO₂-uitstoot. Met de Covid19-crisis sinds 2020 en de verhoging van de energieprijzen sinds 2021 wordt betere ventilatie én thermische isolatie steeds belangrijker. **Alleen thermische isolatie zonder goede ventilatie is geen goede oplossing voor oude woningen.**

Woningen die ná 1980 zijn gebouwd hebben vaak al isolatiemateriaal in de spouwmuur en sommigen hebben een mechanische afzuiging. Bij een mechanische afzuiging komt de verse lucht constant naar binnen door ventilatiesleuven in/op de ramen; deze lucht wordt constant opgewarmd. Echter, van veel woningen waarbij een mechanisch ventilatiesysteem werd aangelegd zijn bijna **overall comfort problemen aanwezig** zoals slijmvlies en neusklachten¹¹ die ontstaan door erg droge lucht in de winter.¹² Dit was een veel voorkomend probleem bij Vinex¹³ woningen van kort na 1990.

Constructie	1965	1975	1979	1982	1987	1990	1992	1998	2000	2002	2015
EPC	>2,9	2,4-2,9	2,4-2,9	2,0-2,4	1,6-2,0	1,6-2,0	1,6-2,0	1,3-1,6	1,0-1,3	0-1,05	0-1
Verbruik	Heel erg hoog	Erg hoog		Redelijk hoog	Gemiddeld			Redelijk laag	Laag	Erg laag	Erg laag
Energie label	G	F	F	E	D	D	D	C	B	A	A
Dak	0,86	1,03	1,29	1,3	2,0	2,5	2,5	3,5	4,5	6,0	6,3
Buitenmuur	0,43	0,69	1,29	1,3	2,0	2,5	2,5	3,5	4,0	4,5	4,7
Vloer B.G.	0,17	0,26	0,52	1,3	1,3	1,3	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
Glas woon	--	--	dubbel	dubbel	dubbel	HR	HR	HR+	HR+	HR++	HR++
Glas slaap	--	--	--	--	--	--	HR	HR+	HR+	HR++	HR++

Tabel van de isolatie bouwnormen sinds 1965 tot en met 2015.

Dit document geeft een samenvatting van de belangrijkste punten, waarvan bijvoorbeeld: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/ventilatie/woning-ventileren/>

Zie voor keukenventilatie: <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2020/09/LA-factsheet-Betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen.pdf>

Een typisch probleem van de oudere woningen is dat de woningeigenaren vaak wél enkele isolatie maatregelen hebben genomen zoals spouwmuur na-isolatie, dakisolatie, HR⁺⁺ glas en kierdichting, maar daarmee hebben ze de ‘natuurlijke ventilatie’ van die oudere woning sterk verminderd. Die natuurlijke ventilatie is wel nodig; zelfs essentieel.

Voor verdere uitleg van begrippen, zie de woordenlijst achterin (annexe A-Z)

¹¹ Deze klachten kunnen ook ontstaan door andere oorzaken, niet alleen door de erg droge ventilatielucht.

¹² Dit komt omdat koude lucht die wordt opgewarmd nog veel droger wordt. Zie diagram van Mollier. *In een goed geïsoleerde woning van 2010 stond de mechanische ventilatie de hele dag aan. Vanwege de droge lucht hadden de bewoners in elke kamer een luchtbevochtiger. Hun elektriciteitsrekening was ENORM.*

¹³ **Vinex** is een afkorting voor Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra, deze nota is opgesteld door het Ministerie VROM in 1991. In heel Nederland werden verschillende van deze nieuwbouwwijken gebouwd.

Figuur 3. Ventileren met buitenlucht verwijderd waterdamp, fijnstof, aerosol (TVOC), CO₂ en laat zuurstof binnen.

Wanneer de warme lucht naar buiten gaat, verdwijnt er met die lucht ook warmte.¹⁴

De koelere buitenlucht moet worden opgewarmd hetgeen warmteverlies betekent. Dat gaat effectief met een balansventilatiesysteem (met WarmteTerugWinning, WTW). Een goede WTW behoudt >95% van de warmte.



Zuurstof uit de lucht in een woning raakt op door ademen. Uitgeademde lucht bevat waterdamp en CO₂. De lucht wordt verder vervuild door roken, brandende kaarsen, koken, huisdieren, de was doen, douchen, toilet gebruik, schoonmaakmiddelen, aerosols zoals “luchtverfrissers”, kachels, kledingstof, verf, en verschillende bouw- en constructiematerialen (HCOC) van een nieuw gebouw en Radongas en Thorongas (uit de grond)¹⁵. Vervuilde lucht (fijnstof) van verkeerswegen en industrieën kunnen van buiten binnenkomen¹⁶. Ventilatie verwijderd al de meeste ongewenste gassen en stoffen, terwijl een goed ventilatiesysteem met een WTW en een filter schone verse lucht met slechts weinig warmteverlies naar binnen kan brengen.

2.1 Kierdichting

De in verschillende adviezen veel genoemde maatregel (b.v. in MilieuCentraal en Hoomdossier)¹⁷ staat dat je kierdichting moet toepassen. Kierdichting is vooral van belang om ongewilde luchtuitwisseling en daarmee ongewenst warmteverlies te voorkomen. Ventilatie blijft nodig. Kierdichting is vooral **van belang** bij een **mechanisch (balans)ventilatiesystemen**. Grote kieren, open klepraampjes, roosters en schoorsteenkanalen zullen een balansventilatiesysteem verstoren. Bij na-geïsoleerde woningen zal volledige kierdichting, maar zonder (balans)ventilatiesysteem, snel leiden tot een **on gezond binnenklimaat**, soms tot hoge luchtvochtigheid en daarmee schimmel.

De mate van slechte luchtkwaliteit, vervuiling en fijnstof binnen hangt af van de volgende factoren:

1. Huisstof. Slijtage van tapijten en vaste gestoffeerde vloerbedekking waarop gelopen wordt.¹⁸ De meeste kleding (beddengoed) veroorzaakt ook huisstof bij het dragen.¹⁹
2. Stofzuigen met gewone filters produceert heel veel fijnstof.²⁰
3. Van de vacht van dieren worden eiwitten afgestoten die bij sommige mensen allergische reacties teweeg kunnen brengen (kattenbak luchtvervuiling).
4. Koken, vooral braden en wokken veroorzaken erg veel **fijnstof** (PM 2,5).

¹⁴ De cartoon is eigenlijk niet juist, want bij een gevaarlijk hoog CO₂ gehalte gaan de planten beter groeien.

¹⁵ Roken versterkt het schadelijke effect van Radon en Thorongas. <https://www.rivm.nl/radon-en-thoron/over-radon-en-thoron> Dampdichte vloerisolatie en bodemfolie verminderen het Radon- en Thorongas.

¹⁶ Een goed ventilatiesysteem met WTW heeft een fijnstoffilter dat periodiek vervangen moet worden.

¹⁷ Bij MilieuCentraal staat kierdichting voorop, maar verderop wordt op die website óók gewezen op **goede ventilatiemogelijkheden**. Dat laatste wordt vaak over het hoofd gezien, maar is minstens zo belangrijk. Bij het Hoomdossier staat ook kierdichting vermeld als belangrijke maatregel, maar is **niet gekoppeld aan mechanische ventilatie**. Zonder mechanische ventilatie (WTW) is extreme kierdichting een foutieve maatregel.

¹⁸ Schoenen met rubberzolen (trainers) veroorzaken meer slijtage op tapijt dan gladde leren zolen.

¹⁹ Tegels, gepolijst beton, laminaat en parket veroorzaken minder stof en zijn goed schoon te houden.

²⁰ Met de meeste stofzuigers (grof-stof) wordt het fijnstof gewoon de lucht ingeblazen.

5. Een gasfornuis produceert verbrandingsgassen (CO₂, NO_x en waterdamp).
6. Douchen en sauna gebruik produceert vooral waterdamp, soms aerosols van shampoo.
7. Was drogen in huis; waterdamp, aerosol van wasverzachter.
8. Geurstokjes, verdamers, luchtverfrissers, boenmiddelen, meubelpoets produceren aerosols (VOS) die geuren verhullen of maskeren; ze **maken de lucht feitelijk vuiler**.
9. Roken van sigaretten, sigaren, pijp, wiet en het branden van kaarsen, waxinelichtjes. Allen verbruiken zuurstof, produceren CO₂ en hebben **veel fijnstof** uitstoot.
10. Open of gesloten houthaard zonder goede eigen lucht aanvoer en rookafvoer. De rookafvoer naar buiten geeft zeer grote warmte, CO₂, NO_x, waterdamp en fijnstof uitstoot.
11. Open verbrandingstoestel zoals een gasgeiser, gaskachel of petroleum verwarmingstoestel. Dit kan ook het giftige CO produceren. Dit kan met een CO-meter gedetecteerd worden.
12. Ventileren met vervuilde buitenlucht langs drukke verkeerswegen (fijnstof).
13. Recent gebruikte bouwmaterialen, schilderwerk en kunststoffen (VOS).²¹ Vroeger werd PUR gebruikt als gespoten isolatiemateriaal met Formaldehyde dat schadelijk is voor de gezondheid. Tegenwoordig mag dat niet meer.

*In een flink aantal woningen waar je bij binnenkomst al meteen de hond/kat, de kleine kinderen, sigarettenrook en de keukenluchtjes **ruikt**. Op de vraag of ze ook ventileren komt meestal (>90%) het excuus dat 'toevallig' het rooster of raampje dichtstond omdat het waaide of te koud was. In een flink aantal gevallen zit het ventilatierooster op het raam verstopt met spinnenwebben.*

De mate van luchtvervuiling, zuurstof **verarming en fijnstof kan verminderd** worden door:

- A. Continue ventileren. Raam op een kleine kier openhouden in het slaapvertrek.²²
- B. Regelmatig ruim ventileren (spuien) wanneer er buiten schone lucht aanwezig is.
- C. Gladde, goed schoon te houden vloeroppervlaktes.²³ Gebruik een statische Swiffer.
- D. Tijdens koken en enige tijd erna (een half uur tot een uur) goed afzuigen via de wasemkap.
- E. Luchtfilters in recirculatie kappen bij elektrisch koken (fijnstoffilters én actieve koolstof).
- F. Luchtzuiveraars die verschillende gradaties fijnstof uit de lucht halen (sigarettenrook).
- G. **Niet binnen de bovengenoemde nummers 8 t/m 12 veroorzaken of toestaan.**

Wat **niet helpt** voor de luchtverversing, zuurstof toevoer of ventilatie:

- I. Kamerplanten die zuurstof produceren of lucht zuiveren. Zie annexe.
- II. Af-en-toe door een buitendeur lopen en deze daarmee open en dicht doen.²⁴

In veel oudere woningen zonder mechanische ventilatie zijn het juist de kieren en de tocht die de enige bron van ventilatie zijn. Mechanische afzuiging (geen balansventilatie) veroorzaakt vaak tocht die door de raamroosters binnenkomt, vooral in de winter. Naden en kieren zijn nadelig, maar bij het dichtzetten moet aandacht gegeven worden aan andere goede en regelbare ventilatie.

Om bij kamers met onvoldoende ventilatie verbetering aan te brengen bestaan de mogelijkheden om op een manuele wijze het gedrag aan te passen (raampje open, raampje dicht).

²¹ Regelgeving stoffen Binnenmilieu <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0112.pdf>

²² De kiepstand geeft vaak een te grote kier, gebruik dan een kortere afstandshouder.

²³ Bij het vervangen van bestaande vloerbedekking moet er aandacht gegeven worden aan het voorkomen van contactgeluid door de toepassing van een geluiddempende ondervloer, vooral bij appartementen. Bij de meeste appartementen en Verenigingen van Eigenaren (VvE) zijn duidelijke normen van toepassing.

²⁴ Dat helpt iets, maar veel is het niet. Het gaat dan om slechts een enkele m³ luchtverversing per keer.

Het verbeteren met de installatie van apparaten, door de domotica²⁵ en andere apparaten vereist elektriciteit. Luchtzuiverers verversen de lucht niet, maar halen slechts het fijnstof uit de lucht.

Om een signaleringssysteem te hebben voor een te hoog CO₂-gehalte in de lucht zijn er vele modellen in de markt. De beste hebben een **NDIR-sensor kwalificatie**²⁶ met een nauwkeurigheid van meting van het CO₂ bereik van ≈100-5000 ppm en een signaleringssysteem.²⁷

Er zijn ook meters die ook het fijnstof meten, bijvoorbeeld: PM2.5: 0-999µg/m³, PM10: 0-999µg/m³, HCHO: 0-9,999 mg/m³, TVOC: 0-9,999 mg/m³, CO: 0-1000 PPM, CO₂: 400-5000 PPM.

Bij een ventilatietekort is het wenselijk om zowel een korte-termijn als een lange-termijn planning te maken voor de noodzakelijke maatregelen. Het aanleggen van een balansventilatiesysteem door het hele huis is dan vaak iets wat ter sprake komt bij een algehele renovatie van de woning, tenzij het makkelijk kan worden aangelegd als er al een mechanische afzuiging is, of als de woning oude schoorsteenkanalen heeft waar een ventilatiekanaal door getrokken kan worden.

Bij het vervangen van enkele of oude dubbele ruiten door beter isolerende ruiten (HR++ of Tripleglas voor woonkamers) bestaat er de optie om boven op het nieuwe glas (in het raam of kozijn) of boven op het nieuwe kozijn een permanente en regelbare ventilatiestrook te plaatsen.

Een draairaam in de keuken kan ook beter vervangen worden door een vaste Tripleglasruit, direct in de sponning van het kozijn geplaatst, met een ventilatiestrook boven op het glas.

Meer informatie het document '101 Soorten Glas' op 1^{ste} pagina in website www.nienhuys.info

Bij een keuken-wasemkap is het de vraag waar de verse lucht vandaan komt als die aanstaat. De reactie is meestal dat men dat niet weet, maar die tientallen m³ verse lucht komen wel ergens uit het gebouw, want de wasemkap trekt de ruimte niet vacuüm. Met alle ventilatieroosters dicht werkt de wasemkap afzuiging dan ook nauwelijks.

2.2. Bouwbesluit luchtverversing.

In het Bouwbesluit 2015 staat artikel 3.6. 'Luchtverversing' wat de eisen zijn voor nieuwbouw.²⁸

In paragraaf 3.6.2 worden de eisen aangegeven voor verbouw of bestaande bouw, waarbij in artikel 3.38 het volgende staat: **"Een verblijfsruimte heeft een voorziening voor luchtverversing met een volgens NEN 8087 bepaalde capaciteit van ten minste 0,7 dm³/s per m² vloeroppervlakte met een minimum van 7 dm³/s per m² vloeroppervlak."**

Opgelet: Deze norm is gebaseerd op een bezetting van 10 m² vloeroppervlak/persoon en daarmee vrij hoog. Wanneer niet alle ruimtes volledig bezet zijn kan de berekening lager zijn.

²⁵ De automatische of op afstand (e.g. met de smart telefoon) bestuurbare regeling van apparaten.

²⁶ (Wikipedia) Een niet-dispersieve infraroodsensor (NDIR-sensor) is een betrekkelijk simpel spectroscopisch apparaat dat vaak gebruikt wordt voor analyse van de samenstelling van een gas. Vaak gaat het om de detectie van methaan of koolstofdioxide.

²⁷ Zelf heb ik: LifeWise CO₂ Meter - Luchtkwaliteitsmeter - Hygrometer en Thermometer - Draagbaar en Oplaadbaar (72 uur back-up) - Zelfkalibrerende NDIR Sensor van BolCom. Euro 60 of zo iets.

²⁸ Bouwbesluit artikel 3.6 Luchtverversing. <https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd3/afd3-6>

Een woonkamer zonder keuken van **50 m² oppervlakte** (inhoud $\approx 125\text{m}^3$) moet dan in theorie een luchtverversing capaciteit hebben van $50 \times 0,7 = 35 \text{ dm}^3/\text{seconde} = 2.100 \text{ dm}^3/\text{minuut} = 126.000 \text{ dm}^3/\text{uur} = \mathbf{126 \text{ m}^3/\text{uur}}$. Dat betekent een maal per uur luchtverversing voor de hele kamer.²⁹

Een badruimte moet de dubbele capaciteit hebben. Een badkamer van **10 m²** (inhoud $\approx 25\text{m}^3$) heeft dan minimaal een capaciteit van $10 \times 0,7 \times 2 = 14 \text{ dm}^3/\text{sec.} = 50.400 \text{ dm}^3/\text{uur} = \mathbf{50 \text{ m}^3/\text{uur} \text{ nodig}}$. Dat betekent dus dat de luchtverversingcapaciteit tweemaal per uur is.³⁰

Een mechanische (met het licht-geschakelde) afzuiginstallatie zou een dergelijke capaciteit moeten hebben, en enige tijd na blijven draaien na het verlaten van de badruimte.³¹ Bij het kiezen van een mechanische afzuiger moet gelet worden op de hoeveelheid lawaai ($< 30 \text{ dB}$ in slaapkamers). Het feitelijke lawaai wordt beïnvloed door het rooster, en een trillingvrije verbinding aan het plafond en het afvoerkanaal.

Figuur 4. Een mechanische licht-geschakelde badkamer afzuigventilator is aan te bevelen boven een gewone ventilatiepijp (zonder ventilator) naar het dak. De natuurlijke ventilatie is afhankelijk van de wind buiten. Wanneer het vocht niet snel genoeg wordt afgevoerd zal het op de koude muur condenseren. Bij een poreus oppervlak trekt het in de muur en is dan een voeding voor schimmel. Bij een mechanische ventilatie moet er wel lucht vanuit de woning worden aangezogen. De tijd van de na-ventilatie (nadat het licht is uitgedaan) kan ingesteld worden.



Volgens het bouwbesluit heeft een keuken 3X de 7 dm³/s capaciteit nodig = $21 \text{ dm}^3/\text{s} = 75,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ per m² vloeroppervlak. Als een keukenvloer 10 m² is, wordt dat $10 \times 75,6 = 756 \text{ m}^3/\text{uur}$. Dit lijkt heel erg hoog, maar de praktijk is dat de afzuiger slechts tijdens het koken aanstaat.³²

In woningen met een **open keuken** loopt de afzuiging van de woonkamer door de keuken. Bij geen gebruik van het (gas)fornuis is dan de afzuigcapaciteit van de grotere woonkamer van toepassing. In de normwetgeving wordt geen onderscheid gemaakt tussen koken op gas of koken op elektriciteit, terwijl elektriciteit geen verbrandingsgassen veroorzaakt (wel waterdamp en fijnstof). **Recirculatie** afzuiging maakt de lucht iets schoner, maar **ververst deze niet**; de waterdamp blijft dan circuleren.

De woningventilatie is ook nodig om ioniserende gassen uit de woning/grond te verwijderen zoals Radon en Thoron. Om Radon en Thoron emissies uit de grond te verminderen wordt bij vloer- of

²⁹ Deze capaciteit moet aanwezig zijn, maar wordt alleen gebruikt wanneer de woonkamer vol met mensen is. Dat is meestal niet het geval en daarom een overdreven standaard. De helft is ook al meer dan voldoende.

³⁰ Het goed afvoeren van waterdamp t.g.v. warm douchen is belangrijk vooral voor kleine badkamers. Het een half uur laten na-draaien na de warme douche is belangrijk om het vocht kwijt te raken. Daarna kan de ventilator op de laagste stand of uitgezet.

³¹ Een 100 m³/uur afzuiger voor een kanaaldiameter van 100 mm kan 7 Watt verbruiken.

³² Afzuigkappen hebben een capaciteit variërend van 400 m³/uur tot 900 m³/uur. Voor een aparte kleine keuken (10 m² vloer) is een capaciteit van ongeveer 400 m³/uur mogelijk, maar moet dan 2 uur aanstaan. Bij open keukens moet de capaciteit groter zijn en voldoende lang aanstaan.

bodemisolatie een dikke plastic grondafdekking gebruikt.³³ **Dit is bij elke begane grondvloer na-isolatie aan te bevelen.** Een oranje LDPE (Low Density PolyEthylene) folie uit de bouwmarkt.

In de praktijk worden veel woningen opgeleverd met een permanente afzuigcapaciteit van minimaal 75 m³/uur, terwijl TNO een keuken afzuigcapaciteit aanbeveelt van minimaal 300 m³/uur. Dit is gebaseerd op een boven-afzuiging boven de kookplaat; bij een onder-afzuiging naast of door de kookplaat is een hogere afzuigcapaciteit nodig met een minimum van ongeveer 500 m³/uur. De **onder-afzuiging vergt ongeveer 30% meer afzuigcapaciteit** en is dus energie-onzuinig.

Niet alleen het koken en de wasdrogen in huis produceert veel waterdamp, maar mensen ademen waterdamp uit als verbrandingsgas. Die waterdamp moet door ventilatie uit de woning worden verwijderd, ook als ze slapen.

Daarom is 's nachts **de slaapkamer continu een beetje ventileren noodzakelijk**, ook al brengt dat koude buitenlucht naar binnen. Wanneer er niet geventileerd wordt is dat erg ongezond en kan de bewoner het koud krijgen en hoofdpijn. Bij een te hoge CO₂ concentratie (> 1000 ppm) en te lage O₂ (zuurstof) concentratie kan leiden tot hoofdpijn. Met voldoende verse lucht onder een goed isolerend dekbed heb je het eerder warm. Vooral baby's en kleine kinderen hebben verse lucht nodig en kunnen goed tegen een koele kamer wanneer ze goed zijn ingestopt; dit voorkomt ook gewenning voor de toekomst.

2.3. Relatieve luchtvochtigheid

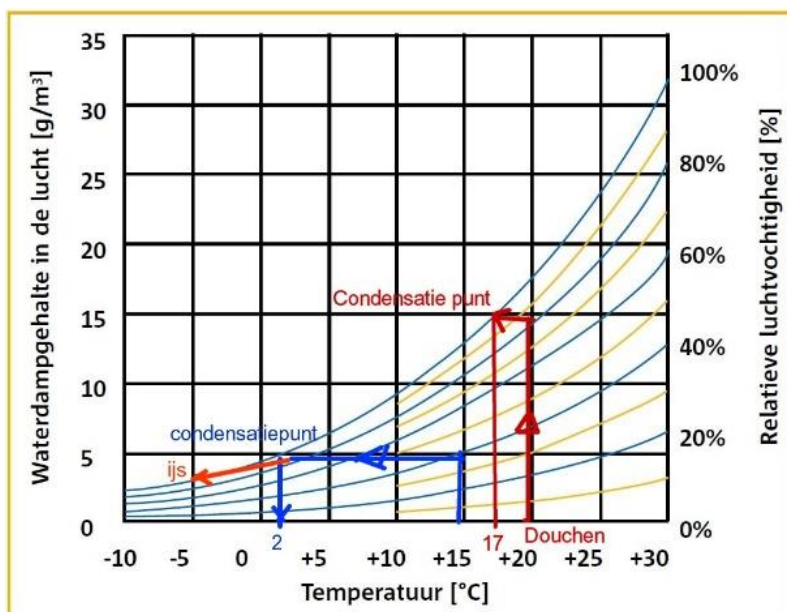
De normen zijn gebaseerd op de Nederlandse situatie met een gematigd en gemiddeld vochtig klimaat waarbij het in de winter koud is, maar in de zomer gematigd warm, waardoor er in de meeste huizen geen koeling nodig is³⁴. De relatieve vochtigheidsgrafiek geeft twee typische problemen weer.

Figuur 5. Mollier diagram.

Start op de basislijn van de luchttemperatuur (20°C). Ga omhoog naar de horizontale lijn van de luchtvochtigheid gehalte van de lucht (50%).

Trek een horizontale lijn naar links tot aan de blauwe lijn van de 100% luchtvochtigheid of het condensatiepunt.

Recht naar beneden is dan de temperatuur van het condensatiepunt (17 °C)



³³ Isolatiebedrijven dienen bij vloer- of bodemisolatie eerst een dikke plasticfolie op de grond te leggen.

³⁴ Met moderne warmtepompen kan koeling worden verzorgd. Vooral de warmtepomp met een bodem- of waterlus kan goedkoop koelen. Het is verstandiger om hoge zonbelasting te voorkomen door zonwering aan de **buitenkant van de woning**.

Uitleg van de lijnen in het Mollier diagram hierboven:

- A. **Rode lijn.** Tijdens het douchen met warm water verhoogt de relatieve luchtvochtigheid in de hele badkamer sterk tot ten minste 85% (in de douche 100%). De binnenzijde van een gepleisterde buitenmuur kan bijvoorbeeld 17° zijn, waarbij de vochtige lucht **condenseert** op deze muur en er vervolgens in trekt (vaak niet zichtbaar, tenzij op tegels). Zie de rode lijn “Douchen”.
- B. **Blauwe lijn.** Bij een lage luchtvochtigheid (door warm-stoken in de winter) van 40% bij 15°C en een slecht geïsoleerde muur zal bij -5°C buiten kan de binnenzijde van die muur bijvoorbeeld +5°C zijn; net boven het dauwpunt. Wanneer de luchtvochtigheid groter is, zal gauw condens optreden en in het binnen pleisterwerk trekken. Hierdoor wordt de isolatiewaarde van die muur nog verder wordt verlaagd, waardoor de muur nog meer afkoelt en de **condens** verder binnen in de muur zal optreden.

Bij hoge luchtvochtigheid (bij het douchen of koken) en/of bij slechte buitenmuurisolatie zal eerder condensatie optreden. Bij onvoldoende ventilatie en aanwezigheid van vocht ontstaat schimmel. Condensatie is het eerst zichtbaar op enkel glas ruiten ($U_g = 6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ of $R_g = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$). Bij koude gepleisterde muren of voegen tussen de tegels zal het vocht in dat pleisterwerk condenseren met een verlaging van de isolatiewaarde tot gevolg en de potentie van schimmelvorming.

Figuren 6. Condensatie op enkel glas vanwege warm/lang douchen. Beter isolerende ruiten en ruime ventilatie tijdens en ruim na het douchen voorkomt dit.

Wanneer de waterdichte binnen verf niet 2 mm op het glas is door-geschilderd trekt het condens in het raamhout dat dan gaat rotten.



Hoewel condensatie op enkel glas snel zichtbaar wordt, zal een niet geïsoleerde spouwmuur of steensmuur ($R_c \approx 0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) ook condensatie krijgen, waarbij de **condensatie in de poreuze muur trekt**. Bij een na-geïsoleerde spouwmuur ($R_c \approx 1,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) zal dat minder zijn, maar vocht in de baksteen muur en isolatie (vlokken, parels)³⁵ kan de isolatiewaarde verlagen tot $R_c \approx 1,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

Soortgelijke processen kunnen zich ook voordoen bij een dakconstructie. Dit moet voorkomen worden door een dampdichte folie aan de warme kant toe te passen. Echter, deze folies blokkeren ook de luchtuitwisseling.

³⁵ Isolatiebedrijven van bakstenen spouwmuren kunnen niet garanderen dat er in die spouwmuren of isolatiemateriaal geen vocht zal komen. De meerwaarde van de driemaal hogere isolatie van een na-geïsoleerde spouwmuur is veruit belangrijker dan een beetje vocht in de muur of de isolatie. Wanneer echter die muur aan de kamerkant binnenzijdig nog eens van extra isolatie wordt voorzien, tot aan het niveau van de minimum nieuwbouwnorm ($R_c = 4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$), is het belangrijk dat aan de warme kant (binnenzijde) een dampdichte folie wordt toegepast, zodat er geen condensatie meer in het isolatiemateriaal kan optreden.

Na-geïsoleerde oude woningen en goed geïsoleerde nieuwe woningen hebben daardoor minder natuurlijke ventilatie via de geveloppervlaktes. Ventilatie (mechanisch) is dan noodzakelijk. Een WTW op de ventilatie voorkomt veel warmteverlies zoals balansventilatie.

De moderne balansventilatiesystemen hebben een WTW-efficiëntie van meer dan 95%, waarmee er weinig warmte verloren gaat en er toch goede ventilatie wordt geleverd.

Slechte, onvoldoende of verkeerde ventilatie kan leiden tot CO₂-concentratie binnen (1000 ppm of hoger) en daarmee tegelijkertijd een verlaging van het zuurstofgehalte in de lucht.³⁶

Nieuwe (balans)ventilatiesystemen met WTW komen dan ook met de optie van CO₂ sensors die zorgen dat het systeem meer gaat ventileren bij een te hoge CO₂ concentratie.³⁷ Een andere optie is een WTW-systeem met luchtbevochtigers, die voorkomen droge lucht in de winter.

In een woning uit 1890 waren de originele verticale schuiframen voorzien van nieuw isolatieglas (2x het gewicht van enkel glas), maar de contragewichten/kabels van de schuiframen waren niet aangepast. Het resultaat was dat de ramen niet meer open konden en de slaapkamer niet geventileerd werd.

De twee jongens die daar sliepen hadden een moderne HEPA-filter, maar 's ochtend hadden ze regelmatig hoofdpijn en waren dan super duf. Op school waren ze slaperig met slechte leerresultaten. Zonder HEPA-filter, maar met het raam op een ventilatiestand en een goed dekbed krijgen ze een betere nachtrust en betere leerresultaten. Ze zijn dan beter/gezonder af. Een goed dekbed is bovendien goedkoper dan een HEPA-filter.

Om het raam aan te passen is het een kwestie van de contragewichten/kabels/rollen van het schuifraam verbeteren.

*De oudere generatie is opgegroeid met ijsbloemen op de ramen in de winter. Het **verwarmen van slaapkamers is een grote luxe die heel veel energie kost**. Normaliter hebben de slaapkamers op de eerste etage al vloerverwarming. Wanneer de woonkamer op de begane grond 's avonds verwarmd is tot 19°C, dan heeft het plafond ook die temperatuur. Zonder speciale extra isolatie heeft dan de vloer van de slaapkamers boven de woonkamers dan een temperatuur van tussen de 16°C en 17°C. Extra verwarming is dan niet nodig.*

Het kweekt bovendien een verkeerde gewenning, waardoor een in warme slaapkamer opgroeïende generatie het voor de rest van hun leven het koud heeft.



³⁶ Een combinatie van meer CO₂ (t.g.v. uitgeademde lucht) en een lager zuurstofgehalte in een goed gesloten (niet geventileerde) kleine slaapkamer zal snel leiden tot hoofdpijn in de ochtend.

³⁷ Mensen kunnen goed overleven met een lager zuurstofgehalte zoals hoog in de bergen, maar mensen die daar wonen zijn dan al aan de hoogte geacclimatiseerd; dat gebeurt niet in een halve nacht.

Hoofdstuk 3. Verschillende ventilatiemodellen

3.0. Ventilatiesystemen A, B, C en D.

Voor het maken van een lange-termijn planning voor (1) isolatieverbetering, (2) ventilatieverbetering en (3) een nieuw verwarmingssysteem, moeten deze drie activiteiten op elkaar worden afgestemd.

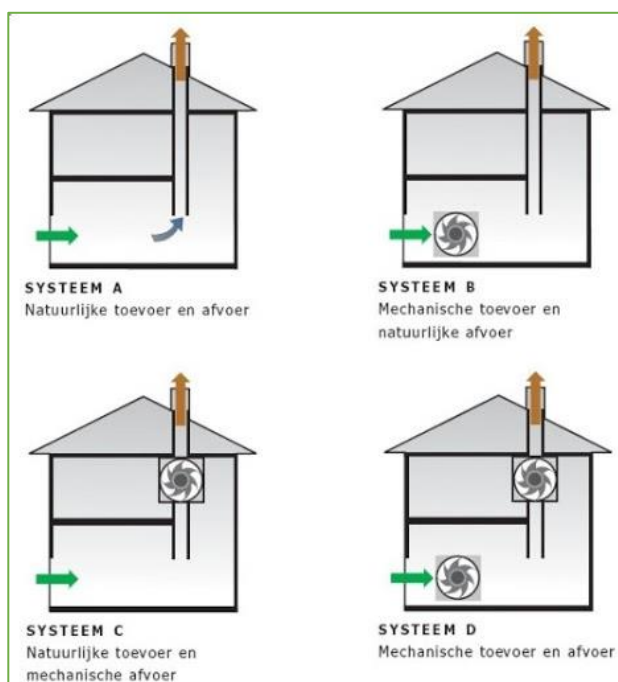
Bij de keuze van een ventilatiesysteem zal de isolatie en verduurzaming van het gebouw meegenomen moeten worden, zodat deze elkaar **later niet in de weg zitten**. Een installatiebedrijf zal een systeem aanbieden waarmee ze het best bekend zijn (dealer) of waar ze goed aan verdienen. Dat betekent niet altijd dat zoiets de beste keuze is of het meest economisch. Aan de andere kant betekent het ook niet dat het persé een slecht systeem is.

Figuur 7. Afbeelding van Joost de Vree. De vier hoofd afzuig- of ventilatiesystemen.

Bij systeem A is er soms geen schoorsteen aanwezig, maar hebben sommige huizen wel een licht-geschakelde afvoer in het toilet of badkamer geplaatst en een wasem-afzuigkap in de keuken. De aanvoer van de verse lucht komt dan langs de (klep) ramen en deuren, via de kelder, de schoorsteen (open haard zonder klep) en het dak.

Systeem B produceert overdruk in de woning. Dit wordt weinig toegepast.

Systeem C is de standaard mechanische afvoer sinds de jaren 1980 en later. Hierbij wordt constant de warme lucht afgeblazen (voor de vogeltjes) en constant koude verse lucht van buiten aangevoerd, die in de winter moet worden opgewarmd en dan droger wordt.



Systeem D kan extra een warmtewisselaar voor warmteterugwinning (WTW) bij de afvoer hebben en is dan een balansventilatiesysteem. Evenveel lucht erin als eruit. Bij een WTW zitten de aan- en afvoer beiden in dezelfde apparatuur, maar hebben een eigen en aparte in- en uitgang buiten, meestal op het dak.

Van deze vier ventilatiesystemen is systeem D **met WTW** het meest energiezuinig³⁸. Binnen elk systeem zijn er verschillende varianten mogelijk afhankelijk van hoeveel kamers aangesloten moeten worden, luchtfilters, luchtbevochtigers, zonering en CO₂ of aanwezigheidscontroles.

Het te kiezen product of nieuwe ventilatieoplossing zal sterk hangen van de woninginhoud, de ventilatiebehoeften (aantal mensen/dieren, activiteiten, aanwezigheid, keuken, fijnstof, etc.), de praktische mogelijkheden om de ventilatie in de woning aan te passen³⁹ en de kosten van de installatie, het plaatsen van de installatie en het periodieke onderhoud (filters).

³⁸ Helemaal kierdicht en niet ventileren is ook energiezuinig, maar erg slecht voor de gezondheid en gebouw.

³⁹ Indien het niet allemaal tegelijk kan worden aangelegd met de betere isolatie is het verstandig om ventilatie roosters te plaatsen bij het vervangen van de ruiten voor veel beter isolerende ruiten.

Sys-teem	Omschrijving	Techniek	Extra's	Opmerkingen
A	Natuurlijke toevoer en afvoer	Raam- en muurroosters. Kieren en schoorsteen.	Met de hand regelbare roosters en kleppen.	Het hoofdprobleem is dat men in de winter de roosters of klepramen dicht houdt (omdat er koude tocht gevoeld wordt) en er dan veel te weinig ventilatie is. Dit wordt dan systeem X. Bijkomend probleem is dat klepramen vaak te hoog zitten voor een eenvoudige bediening.
B	Mechanische toevoer.	Overdruk op aanvoer. Raamroosters en kanaal voor de afvoer	Regelbaar volume. Luchtfilters. Verwarming.	Bij de Jaga Oxygen2 decentrale toevoer ventilator zijn zowel verwarming en luchtfilters in het systeem gebouwd. Echter geen WTW. Om meerdere kamers met een enkele unit te bedienen zijn openingen onder de deuren nodig.
C	Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	Raamroosters. Muurroosters. Centrale afvoer via ventpijp en wasemkap.	Regelbaar volume. Hoog voor wasemkap en douche.	Vaak niet mogelijk om eenvoudig uit te schakelen (anders dan de stekker eruit = moeilijk). Muskietengaas in raamroosters is wenselijk. Over het algemeen niet energiezuinig. Resulteert in de winter in erg droge lucht.
D1	Mechanische toevoer en afvoer decentraal .	Aan en afvoer continue of alternerend, 0,5 minuut uitblazen en 0,5 minuut inzuigen.	Regelbaar volume. Afzetbaar. Aansluiting wasemkap	Per kamer met WTW (Climarad verschillende modellen continue), en kan ook met koppeling aan CV voor bijverwarming. Per woonkamer mogelijk. Een kleiner systeem is de een-buis in-uit ventilator met keramisch element, variërend van euro 200 van Hornbach tot euro 700 voor Baluberg Vento. Belangrijk is het geluidsniveau en volume.
D2	Mechanische toevoer en afvoer centraal	Aanvoerkanalen naar woon- en slaapkamers. Afvoer via toilet, douche en badkamer.	Warmtewisselaar. Met luchtfilters, fijn of erg fijn. Zomer-bijpas.	WTW heeft vaak 95% energie rendement. Aanwezigheidssensor, of CO ₂ sensor voor de slaapkamers zijn extra zuinig. Luchtbevochtiger voor beter klimaat (kost energie). Grote 0,5 m ³ WTW-box plus aan- en afvoerleidingen. Zone regeling is extra zuinig.
X	Geen ventilatie	Alles potdicht	Slechte gezondheid	Niet aanbevolen.

Als speciale kosten van het onderhoud van een mechanisch ventilatiesysteem zijn de kosten van de luchtfilters die periodiek vervangen moeten worden om de luchtkwaliteit te garanderen en een goede luchtdoorstroming. Grote filters zijn duurder, maar gaan meestal ook langer mee. Fijnstof F7 filters en koolstoffilters zijn nog veel duurder, maar zuiveren ook beter de lucht (langs autoweg).

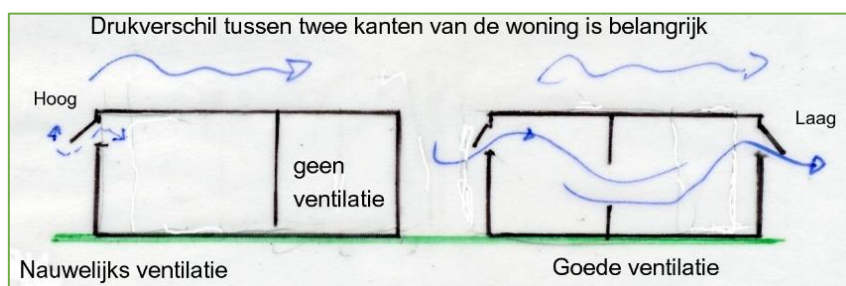
Bij Doe-het-Zelf projecten waarbij de woning in fasen wordt aangepakt kan een installateur de balansventilatie WTW-unit plaatsen (op zolder?) met buiten aan en afvoer en de woningeigenaar kan dan per kamer de aanvoer luchtkanalen aanbrengen. Sommige luchtkanalen kunnen door oude schoorsteenkanalen worden aangelegd.

3.1. Het ventilatiesysteem A: natuurlijke toevoer en afvoer

Dit is het meest voorkomende model bij oudere woningen, waarbij de hoeveelheid ventilatie sterk wordt beïnvloed door de hoeveelheid wind en daarmee het drukverschil tussen de twee tegenovergestelde kanten van de woning. Aan de windzijde is er druk, aan de lijzijde onderdruk. Oudere woningen hebben meestal een kachel, waarbij het schoorsteenkanaal een open verbinding heeft tussen de woonkamer en buiten het dak. Bij sterke wind zal die schoorsteen extra lucht uit de woonkamer trekken. Om dit te verminderen kan er een klep in het schoorsteenkanaal zitten, maar luchtdicht afsluiten doet deze klep niet, dus bij een 'gesloten' klep blijft er wel iets ventilatie.

Het ventilatie systeem A vereist **dagelijks controle en actie** voor het openzetten en sluiten van de ramen en ventilatieroosters voor de periodes dat er gekookt wordt of de douche gebruikt of wanneer het harder waait. Bij onvoldoende ventilatie kan een ongezonde binnen-lucht situatie ontstaan, vooral voor fijnstof, waterdamp en CO₂, formaldehyde (HCHO) en vluchtige organische stoffen (VOC) niveaus. Om hier zicht op te hebben kan een CO₂ en fijnstofmeter (PM 2,5; F7 en F10) worden aangeschaft.

Figuur 8. Ventilatie bij weinig drukverschil (wind) treedt pas op als er aan twee kanten van de woning een opening is.



Het komt heel vaak voor dat woningen aan slechts een kant ventilatieopeningen hebben. **Dan werkt die ventilatie nauwelijks.** Het kierdicht maken van de woning zal in de winter energie bezuinigen, maar vereist wel dat er op een andere manier goed geventileerd wordt om de lucht in de woning te verversen. Spuien is een andere optie, maar dat is niet continu ventileren (zie woordenlijst).

Om zonder mechanisch afzuigsysteem regelmatig ruim te kunnen ventileren is het nodig dat:

- De ramen makkelijk open en dicht gemaakt kunnen worden. Dat houdt in dat ze niet achter een bank of rijen kamerplanten en snuisterijen moeten zitten en licht opereren. Zware schuiframen (zonder tegengewicht) zijn daarom niet praktisch. Draai-kiepramen zijn wel handig en kunnen snel open en dicht. Klepraampjes of **hoge** uitzetraampjes moeten makkelijk te bereiken zijn zonder dat men eerst een stoel of trappetje erbij moet halen.
- De open ramen niet insluipgevoelig zijn. Kiepramen zijn veiliger dan draairamen.
- De open ramen mogen niet windvlaag gevoelig zijn, dus ze moeten goed vastgezet zijn.
- Er bij veel insecten (herfst) een muggengaas is.
- Er aan de andere kant van de woning ook een raam/deur open is.



Figuren 9. Links. Bij moeilijk te bereiken (hoge positie) klepramen worden deze niet regelmatig opgezet of op kierstand. In sommige situaties zit er ook nog een raamslot op. Dit kan verbeterd worden door de toepassing van uitzetijzers die vanuit een lagere positie te bedienen zijn. (Euro 175). Rechts. Er zijn draai-kiep ramen in de markt die een zomer en winterstand (kleinere kier) hebben. (Internet Bohaco). Bij een te grote kier kan er ook een extra vang op het kozijn geplaatst worden die een kleine kier geeft.



Figuren 10. Links en midden. Het regelmatig open en dicht zetten van een (zwaar) schuifraam is onhandig. Met de toepassing van HR⁺⁺ glas of vacuümglas in een oud verticaal schuifraam moeten de contragewichten moeten verzwakt en de ophangkabels vernieuwd worden.

Rechts: Bij het vervangen van enkel glas naar HR⁺⁺ glas worden meestal de ramen permanent dichtgezet. In deze situaties moet dan ergens anders in de woning de ventilatie verbeterd worden, eventueel met decentrale ventilatie. Bij beschermd stadsgezicht of monumenten zijn ventilatieroosters soms niet toegestaan⁴⁰.

Bij het dichtzetten van ramen of het vervangen van ruiten voor beter isolerend glas is het belangrijk dat een analyse gemaakt wordt van de gewenste ventilatie opties. Wanneer niet direct of op korte termijn een balansventilatiesysteem met WTW wordt aangelegd, is het belangrijk dat er boven het nieuwe isolatieglas ventilatieroosters komen of dat er een decentrale ventilatie wordt aangelegd.

3.2. Gebruik van de warmte van de mechanische ventilatie.

Om de warmte van een gewone mechanische ventilatie niet naar buiten kwijt te raken kan een lucht-water warmtepomp worden geïnstalleerd die het Cv-water (gedeeltelijk) verwarmd.

De mechanische ventilator wordt dan vervangen door een **Inventum Spaarpomp Ventilatielucht** warmtepomp. (≈ Euro 3000) deze gebruikt de warmte uit de ventilatielucht om het Cv- of tapwater op te warmen. De warmte blijft dus in de woning. Bij het vervallen van de gas-Cv moet er een Spaarpomp Ventilatielucht gekozen worden die op het nieuwe warmtepomp systeem aansluit. De bezuiniging op de energierekening kan tussen de 1,5m³ – 2m³ gas per 100m² woonoppervlak of 25% en 50% liggen. Bij een jaarlijkse besteding aan gas voor de Cv van euro 800 kan dat dus euro > 200 schelen.

Bij een al bestaande warmtepomp voor moet de spaarpomp op dat systeem worden aangesloten.



⁴⁰ Schoonheidscommissies hebben een waardevolle functie voor de gebouwde omgeving, maar hebben vaak te weinig ook voor energie- en ventilatiemaatregelen. Besluitvorming hangt te vaak af van persoonlijke meningen.

3.3. Het ventilatiesysteem B, mechanische aanvoer, overdruk met natuurlijke afvoer.

Het systeem creëert overdruk, waarbij de lucht door ventilatieopeningen de woning verlaat. Bij sommige industrieën en ziekenhuizen wordt het systeem toegepast in combinatie met extreem fijne stoffilters en andere beschermingsmiddelen (UV-verlichting) om te zorgen dat er geen stof of bacteriën/virussen binnen komen. Een voorbeeld is de Jaga Oxygen2, maar deze heeft geen WTW en is dus minder energiezuinig dan een systeem dat wel een WTW heeft (systemen D).

Een toepassing voor woningen is een **decentraal ventilatiesysteem**, dat per kamer geïnstalleerd kan worden. Het volgende B-systeem is zonder WTW:

Een Sonair unit (Figuur 11) wordt aan de binnenzijde van een buitenmuur geplaatst. Geen WTW. Buitenlucht wordt door de erg stille ventilator via de aanvoerbuis door de gevel of binnenmuur aangevoerd. Vervolgens wordt de lucht via een filter het vertrek ingeblazen (G3 filter, halfjaarlijks vervangen). De hoeveelheid toegevoerde lucht wordt geregeld met een afstandsbediening. Maximum 150 m³/h. Ook met CO₂ sensor. Op de hoogste stand en 2m afstand 50 dB(A)= goed hoorbaar, op stand 4 en 2m afstand met 50 m³/h 31 dB(A) = nauwelijks hoorbaar. Een fijner F6 filter is ook mogelijk.



In de onderstaande tabel⁴¹ zijn de geluidsniveaus in de woning op een rijtje gezet. In de rechterkolom is het maximum geluidsniveau op de gevel aangegeven waarbij uitgegaan is van een woningisolatie van 20 dB(A). Nieuwere woningen hebben over het algemeen een beter isolatie (tot circa 25 dB(A)).

Geluidsniveaus van muziek in de woning	Effect	Omrekening naar geluidsniveau op de gevel bij een geluidsisolatie van 20 dB(A) met de ramen dicht
< 20 dB(A)	Niet meetbaar	40 dB(A)
20-25 dB(A)	is licht hoorbaar	40-45 dB(A)
30-35 dB(A)	Wordt hinderlijk in de avond- en nachtperiode	50-55 dB(A)
40 dB(A)	Begin van ernstige slaapverstoring	60 dB(A)
40 dB(A)	Wordt overdag hinderlijk niveau wordt storend t.o.v. het TV-geluid	60 dB(A)
42 dB(A)	Kun je wakker worden van geluidspieken	62 dB(A)
Tabel ingekort		

De aanbevolen maximum geluidsbelasting voor binnen is 30 dB(A), maar voor de slaapkamers zou een maximum van 27 dB(A) een betere norm zijn. Dit is vooral zo in rustige woonwijken zonder straat of verkeerslawaai in de nacht. Een verhoging van **3 dB is een verdubbeling van de geluidsbelasting**. Bij het aanschaffen van de apparatuur moet dan ook de dB(A) bij de lage stand en de hoge stand bestudeerd worden. Voor de slaapkamer is de lage stand van 35 dB(A) meestal voldoende.

3.4. Ventilatiesysteem C, mechanische afvoer, natuurlijke aanvoer (raamroosters)

Bij goed gesloten ramen en deuren en kierdichting is een ventilatie systeem C niet mogelijk. Bij dit systeem zijn raamroosters of muurroosters noodzakelijk.

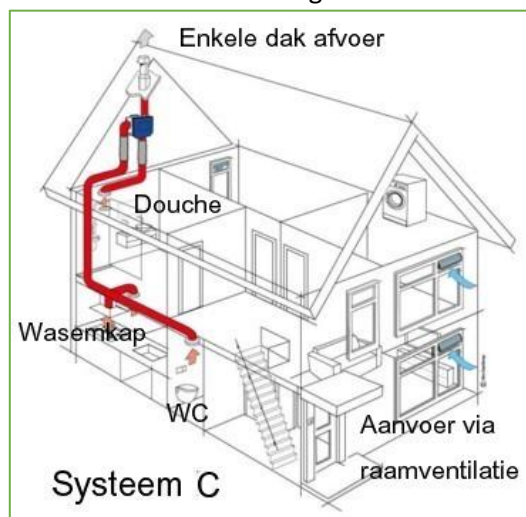
⁴¹ Bron: <http://rustig-wonen-in-gemeente-hengelo.nl/wp-content/uploads/2015/03/Niet-akoestisch-factoren.pdf>

Alleen met grove filters in de raamventilatie openingen kunnen grove stofdeeltje of insecten buitengehouden worden.⁴² Het bekendste voorbeeld is de wasemkap in de keuken.

De meeste C systemen zijn regelbaar maar kunnen slechts moeilijk uitgezet.

- ⊗ Fijnstof wordt bij dit systeem niet verwijderd tenzij men in de woning losse luchtfilter apparatuur plaatst zoals een HEPA-filter. HEPA-filters die ook een Ultra Violet licht systeem hebben kunnen bacteriën en virussen verwijderen.
- ⊗ Schadelijke gassen⁴³ en van dichtbij staande industrie, autowegen en rook van houtkachels of BBQ bij de burens, worden NIET verwijderd.
- ⊗ Koude aangezogen lucht heeft weinig vochtinhoud. Opwarming van die lucht veroorzaakt sterke verlaging van de luchtvochtigheid en kan luchtweg/slijmvlies irritatie opleveren. Dit zijn veel voorkomende klachten bij een mechanische afzuigventilatie.
- ⊗ Bij de constante luchtafzuiging in de winter moet de aangevoerde lucht ook constant opgewarmd worden, hetgeen veel energie vraagt. Deze C systemen zijn dus niet erg energiezuinig.
- ⊗ Het is soms mogelijk om een schakelaar of timer op het wandcontact te plaatsen.
- ⊗ Bij een open schoorsteenkanaal en een verder kierdichte woning wordt de buitenlucht dan door dat schoorsteenkanaal aangezogen. Dat geeft bij een werkende haard grote problemen omdat de rook dan de kamer inkomt en bij een niet-werkende haard rookgeuren.

Figuur 12. Mechanische afvoer volgens systeem C met aanvoer door raamroosters. Met dit systeem is de toepassing van fijnstoffilters niet goed mogelijk. Koude lucht die in de winter continu wordt aangezogen zal in de woning continue verwarmd moeten worden. Bij verwarming van de lucht wordt deze veel droger worden.



Figuren 13. Links. Oud model mechanische ventilator (pre-2000) op 220 Volt met relatief hoog stroomverbruik.

Rechts. Gelijkstroom 4-5 Watt ventilator met laag stroomverbruik.



Het voordeel van een C-ventilatie systeem is dat het vrij eenvoudig kan worden uitgebreid naar een compleet D-systeem door de afzuigunit te vervangen door een goede WTW-unit.

⁴² Voor de luchtvervuiling zie: <https://www.atlasleefomgeving.nl/verken-en-ontdek/adem-ik-schone-lucht>

⁴³ Voor NOx en fijnstofbelasting zie: <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/lucht>

Wanneer het oude systeem 15 tot 20 jaar oud is, is dat de meest relevante oplossing, maar daar is ruimte voor nodig. Het aanleggen van de lucht aan- of afvoerkanalen is mogelijk in een bestaande schoorsteen. Een eventuele open of gesloten haard kan dan tegelijkertijd verwijderd worden.⁴⁴

Er zijn twee ontwerpen waarbij voor bestaande woningen met een mechanische afzuiging het ventilatiesysteem kan worden opgewaardeerd zonder (veel) nieuwe ventilatiekanalen aan te leggen.

- Het Mixfan Systeem van Brink dat gebruik maakt van het trappenhuis.
- Het Zehnder Overflow Technology Ventilator systeem, waarbij slechts in het slaapkamer plafond ventilatie openingen/ventielen worden aangelegd.

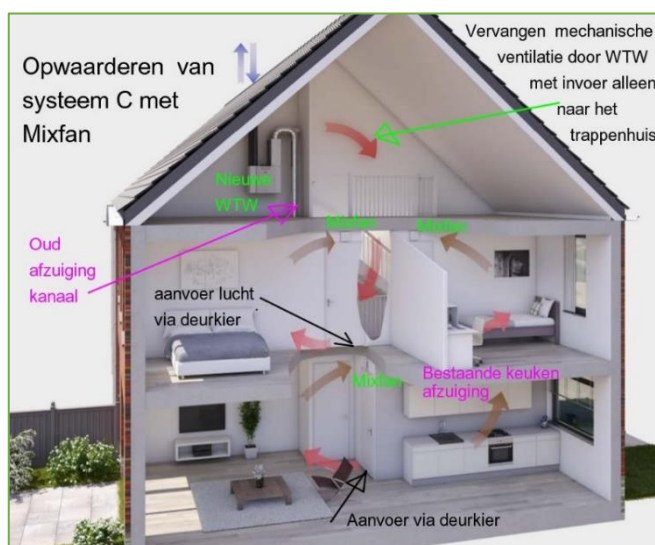
Het Brink Mixfan systeem is een voorbeeld van het opwaarderen van een ventilatiesysteem A of C met een WTW waardoor het een systeem D wordt.

Bij een bestaand mechanisch ventilatiesysteem A zijn het aantal nieuw te maken luchtkanalen beperkt, want de afvoerkanalen zijn al aanwezig vanuit keuken, toilet en badkamer. Bij de Brink Mixfan wordt de verse lucht vanuit de zolder WTW via de trapkolom aangevoerd. Bij de slaapkamers zijn er decentrale luchtwisselaars op/naast de kamerdeuren nodig. Op deze luchtwisselaars zit een CO₂-regeling die het debiet regelt.

Bij systeem C en de Brink Mixfan wordt de oude mechanische afzuiginstallatie vervangen een nieuwe WTW en zijn er geen nieuwe aan- of afvoerkanalen nodig zijn. Dus geen gaten maken in de plafonds.

Figuur 14. Brink Mixfan systeem als opwaardering van een bestaand mechanisch ventilatie systeem C met een nieuwe WTW en CO₂ gestuurde kamerventilatoren die naar een open trappenhuis afvoeren. Dit wordt dan een D ventilatiesysteem.

De bestaande afvoerkanalen vanuit de keuken, badkamer en toilet worden hier gebruikt. Er hoeven geen nieuwe aanvoerkanalen te worden aangelegd. Dit is vooral relevant bij woningen of flats met betonnen systeemvloeren.

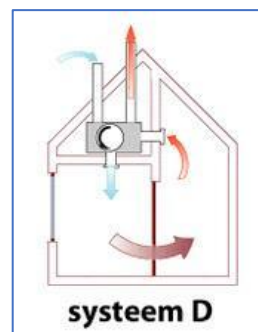


3.4.a De Brink Indoor Mixfan

De Brink Indoor Mixfan is een CO₂-gestuurde verblijfsruimte-ventilator voor luchtafvoer uit het Brink Multi Air Supply systeem. Dit verandert systeem C naar D.

Tekst door Mixfan.

- De basis is een (centraal) balansventilatiesysteem op zolder of boven in het trappenhuis. Bij een oude mechanische luchtafvoer kan deze vervangen worden door de energiezuinige WTW-unit. De bestaande lucht afvoerkanalen uit de keuken, badkamer en WC blijven dan operationeel.*



⁴⁴ Een houtkachel produceert weinig warmte en veel fijnstof en CO₂ -uitstoot naar buiten. Bovendien is een open schoorsteen (houtkachel of gaskachel) niet te combineren met een balansventilatie systeem.

- b. De verse luchttoevoer uit de WTW gaat niet via kanalen, maar is vrij uitblazend in de centrale hal of overloop (trapkolom). Er hoeven dus geen nieuwe lucht aanvoerkanalen aangebracht te worden of gaten in de plafonds gemaakt.*
- c. In de te ventileren (slaap)kamers wordt er een Mixfan geplaatst in de gangmuur (gat maken), met een 230V elektrische aansluiting.*
- d. De Indoor Mixfan is CO₂-gestuurd en zal op basis van de luchtkwaliteit in de verblijfsruimte deze lucht een hoger CO₂-gehalte afzuigen en mengen met de aangevoerde verse lucht in de trapruimte.*
- e. Wanneer er raamroosters zijn in de slaapkamer zal bij het afzuigen naar de gang ook verse (koude) lucht via deze roosters binnenkomen.*
- f. Er is een CO₂-sensor in gang die WTW-unit aanstuurt met een verhoogde ventilatie als in het trappenhuis het CO₂ niveau te hoog wordt. Deze afzuiging gaat dan via de badkamer.*
- g. Afzuigen vanuit keuken, badkamer en toilet naar de WTW blijft via de bestaande kanalen.*

Opmerking 1: Een hele kleine opening in een wand is al een flink geluid lek; alsof er een luidsprekertje zit. Een gewone ventilatieopening (of kier onder de deur) tussen twee ruimtes (slaapkamer en gang) is een zeer groot geluid lek; alle geluid dat in de kamer wordt gemaakt is hoorbaar in de gang. Dat geldt ook tussen de gang en de volgende kamer. Dit kan bezwaarlijk zijn wanneer er meerdere slaapkamers bewoond zijn.

Opmerking 2: Het Brink Mixfan systeem is een oplossing voor wanneer een volledig balansventilatiesysteem niet haalbaar is vanwege verbouwkosten. Het is door de menging van verse buitenlucht met de slaapkamer hoog-CO₂-lucht een beperkte oplossing.

Opmerking 3: De warmte van de afgevoerde lucht uit de woning (18°C tot 19°C) wordt overgedragen naar de binnenkomende lucht met een 95% rendement. De ingeblazen lucht heeft een iets lagere temperatuur dan de afgeblazen lucht (17°C tot 18°C). De naar de slaapkamer aangevoerde lucht heeft hierdoor een vrij hoge temperatuur, hoger dan noodzakelijk.

Opmerking 4: Het Brink Mixfan systeem vermengt vers aangevoerde lucht van uit de WTW met de hogere CO₂-gehalte lucht uit de slaapkamers. Via de gang en badkamer/toilet wordt dan de gemengde lucht via de bestaande ventilatiekanalen naar buiten afgevoerd. Dit is dan wat minder energiezuinig dan een gescheiden balansventilatie systeem. De CO₂-regeling zal de ventilatie voor de slaapkamers overdag uitzetten.

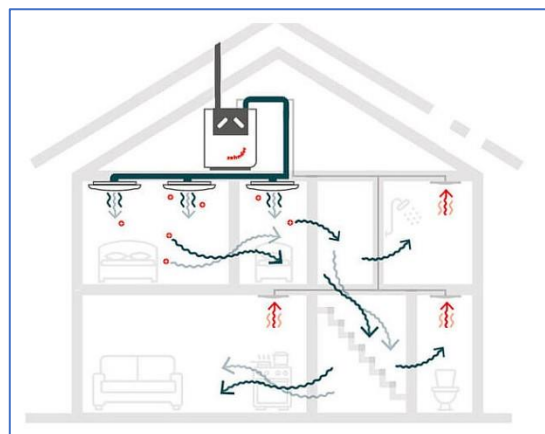
Opmerking 5: De in de (slaap) kamerdeuren of -muren geïnstalleerde Mixfans moeten wel goed geluidsarm zijn.

3.4.b. De Zehnder Overflow Technology Ventilator.

Het Zehnder Overflow Technology Ventilator systeem verandert ook systeem C naar D. Hierbij komen er slechts in het slaapkamerplafond ventilatie openingen/ventielen. Het ventilatiedebiet kan met een CO₂-controle geregeld worden. In veel oudere gebouwen (ook van systeembouw) is het slaapkamer plafond een constructie met houten balken, waardoor het eenvoudig is om daar een ventiel in aan te brengen.⁴⁵

⁴⁵ In een betonnen systeemvloer is het met een speciale boor ook mogelijk om een gat te boren. De speciale boor kan door het wapeningsstaal boren. Het is ook noodzakelijk om te controleren of er geen (elektra) leidingen in de vloer/plafond zitten (met een leidingzoeker). Voorbeeld van een 112 mm gat boren in betonvloer: <https://www.youtube.com/watch?v=P1chF6uMOyE>

Deze optie voorkomt of beperkt ook de aanleg van aanvoerleidingen van de verwarmde lucht naar de begane grond. Overdruk in de slaapkamers (via toevoerventielen vanuit de zolder) stuwt lucht via de kieren onder de slaapkamerdeuren naar het trappenhuis en verder naar de woonkamer. De deur boven aan de trap in de woonkamer moet dan de warmere lucht naar beneden toelaten. De eerdere opmerkingen 1 en 3 zijn ook hier van toepassing.



In de slaapkamer en woonkamer zitten CO₂-sensors die het debiet bepalen. De aanvoer wordt geregeld door de ventielen die dicht staan als er geen gebruik van de slaapkamer is (overdag). Een grotere luchtaanvoer kan soms via een hoek in het trappenhuis direct naar de woonkamer leiden.

3.5. Decentrale WTW-units Systeem D1

De decentrale WTW-units zijn D ventilatiesystemen met een WTW. Deze worden in de buitenmuur van de woning geplaatst en hebben een enkele of een dubbele doorgang nodig. De totale kosten van de installatie zal in grote mate afhangen van de installatiekosten. In veel gevallen kan een goede Doe-het-Zelver ze aanbrengen. Meestal zijn de geluidsarme toestellen duurder dan de eenvoudigste modellen.

3.5.a De Hornbach Marley of Awento HRV100P

De Hornbach Marley of Awento HRV100P is de goedkoopste (Figuur 15). Afwisselend (elke halve minuut) blaast deze via aan keramisch element met veel kleine gaatjes de lucht in- en uit met een 85% warmterendement. Het systeem wordt in de buitenmuur geplaatst. Het geluidsniveau van elk systeem op de laagste stand is relevant wanneer het in de slaapkamer wordt geïnstalleerd. Draadloze afstandsbediening voor 35 of 50 m³/minuut. 32 dB lage stand en **36 dB middenstand**.



Op de hoogste stand heeft de Hornbach Marleyventilator een **hinderlijk geluidsniveau (47 dB)**. De duurdere modellen produceren minder lawaai.



3.5.b S&P Respiro

Meerdere modellen van verschillende fabrikanten zijn in de markt beschikbaar, waarbij ook de prijzen en specificaties verschillen. De afbeeldingen geven slechts een selectie. **S&P Respiro** WTW-apparaat (Figuur 16) eengezinswoning Euro 550-750. Een soortgelijke decentrale WTW is de **Siko sphere comfort** 160 voor Euro 500. Van Jawohterm Nederland.



3.5.c. De Zehnder ComfoAir 70 Alu-Alu

Deze WTW vwntilator (Figuur 17) is een geluidsstillere optie, maar ook veel duurder. Tot 60 m³/h in 4 standen. Stand 3 = 40 m³/h met < 30 dB. Warmte- en vochtwisselaar resp. 90% en 84%. Continue lucht aan- en afvoer. Geleverd met G4 filter, maar F7 filter mogelijk. Ook Zehnder Comfospot 50 - CO₂.

3.5.d. Brink Renovent Sky 150

Deze (Figuur 18) is geschikt voor kleinere woonruimtes zoals studentenflats en ouderenwoningen waar het door het gebrek aan ruimte niet mogelijk is een wandunit te plaatsen. De luchtcapaciteit van 150m³/h. De Renovent Sky 300 = 300 m³/h voor grotere ruimtes.



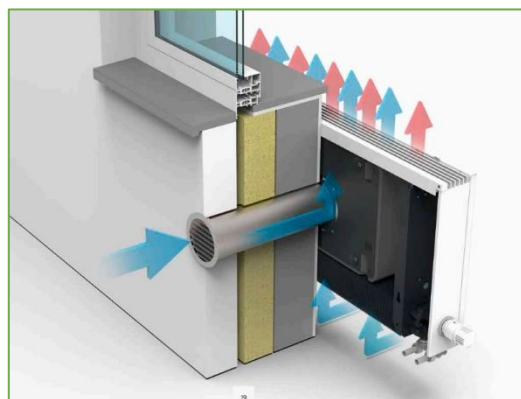
3.5.e. De Fresh-r

Deze (Figuur 19) kan in/op de buitenmuur geplaatst worden, waarbij slechts twee gaten van 160 mm nodig zijn. >87% WTW efficiënt bij 80 m³/uur. Bij renovatie wordt eventueel het voorblad van de spouw uitgezaagd en zit de hele unit in de spouw. Bij prefab muren of kozijnen wordt de unit van tevoren ingebouwd. Bij 35 m³/uur 25 dB(A). De **Fresh-r Everywhere** geeft de mogelijkheid om in een andere kamer dan waar het apparaat wordt gemonteerd, lucht af te zuigen. Door deze ventilator aan te sluiten op een buis naar de badkamer en/of WC werkt een decentrale WTW net als een centrale WTW, maar zonder toe- en afvoerbuisen. Het is kleiner dan een centrale WTW en kan ingebouwd worden in de muur of naast het raamkozijn. De locatiekeuze is flexibeler en dus dichter bij de natte ruimte of de ruimte waar de verse lucht gewenst is. Sommige decentrale WTW-systemen hebben geluiddempende varianten (verkeerslawaaï, vliegtuigen) en types die automatisch gaan werken op een hoog CO₂ gehalte.⁴⁶



3.4.f. De Jaga Oxygen2

Deze (Figuur 20) is een stand alone met luchtfilter en is een decentraal ventilatiesysteem met aansluiting op de CV voor bijverwarming. Deze wint niet de ventilatiewarmte terug en is dus minder energiezuinig.



3.4.g. De ClimaRad 2.0

De ClimaRad2.0 en de Sensa (Figuur 21) worden ook in de buitenmuur geïnstalleerd en hebben bij de WTW-techniek ingebouwde sensoren voor luchtkwaliteit (CO₂), luchtvochtigheid en binnen- en buitentemperatuur. Deze zorgen voor automatische aansturing: de gebruiker hoeft zelf niets te doen om de ventilatie te regelen. Bij de ClimaRad Smart + Solution worden de koudere vertrekken, bijvoorbeeld de slaapkamers, geventileerd via raamroosters. De Climarad kan bijverwarmen (na-verwarming) door aansluiting op de CV. <https://www.climarad.nl/>



⁴⁶ Elk installatiebedrijf kan/zal dat systeem aanbevelen waar ze de meeste ervaring mee hebben. Voor een heel assortiment zie bijvoorbeeld: <https://www.ventilatieland.nl/decentrale-wtw-warmteterugwinning> of https://vantubo.nl/air/ventilatie-wtw.html?gclid=CjwKCAiArOqOBhBmEiwAsgeLmbXoQR7-eS0GImrs0ps3Z79HB1kiRkDKAQfgGP7ywsDoie66tnlahhoCzagQAvD_BwE

Bij grote renovatieprojecten (kantoren, appartementen) wordt Climarad vaak toegepast omdat hiervoor geen nieuwe kanalen ingebouwd hoeven te worden.

Opgelet.

De meeste airconditioners (split systems)⁴⁷ hebben echter **geen luchtverversingssysteem**⁴⁸ en koelen of verwarmen alleen (met of zonder vochtigheidscontrole).

Vóór het aanschaffen van een airco zal in eerste instantie bestudeerd moeten worden of er iets aan de thermische isolatie van de woning verbeterd kan worden.⁴⁹ Buitenzijdige zonwering is ook belangrijk. Door de isolatie te verbeteren of zoninstraling te verminderen kan koelen minder nodig zijn. Een werkende airco gebruikt minstens 2 kWh tijdens werking.

3.6. Ventilatiesysteem D2, mechanische toe- en afvoer

Een mechanische toe- en afvoer is nog géén balansventilatiesysteem. Een balansventilatiesysteem is een systeem D2 waarbij dezelfde hoeveelheid lucht erin gaat als eruit. Een balansventilatiesysteem heeft meestal een WTW.

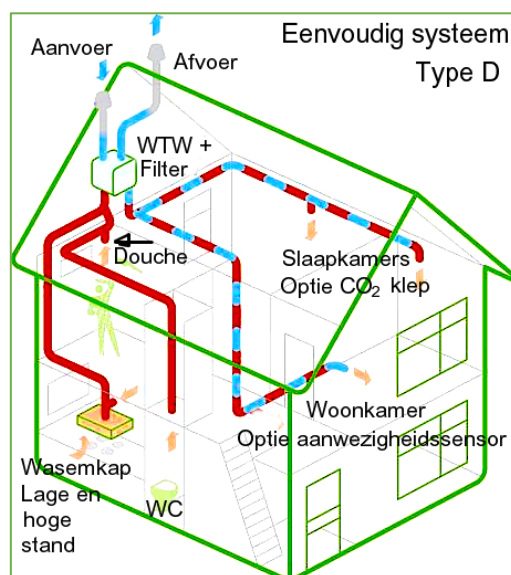
Figuur 22. Systeem D is niet vanzelf een balansventilatiesysteem.

Een balansventilatiesysteem is wel een D2-systeem, waarbij er evenveel lucht wordt aangevoerd als afgevoerd.

De rode lijnen zijn de afvoer van de warme en vervuilde lucht (CO₂, minder zuurstof, meer waterdamp en fijnstof). De afvoer gaat van de keuken, het toilet en de badkamer/douche.

De rood-blauwe lijnen zijn de aanvoer van de opgewarmde lucht die eventueel gefilterd is en bevochtigd.

Vanuit de woon of slaapkamers gaat de oude lucht onder de deuren door naar de afvoerpunten.



Oude WTW's met wisselstroommotoren kunnen onzuinig zijn in elektriciteitsgebruik, geen opties voor filters hebben, geen optie voor luchtbevochtiging, geen optie voor CO₂ sensors of aanwezigheidssensors en zelfs lawaaiig zijn. Mechanische apparaten zoals ventilatoren hebben meestal een basis levensduur van minimaal 15 jaar en kunnen daarom na 20 jaar groot onderhoud nodig hebben. In aansluiting van het grote onderhoud kan het hele systeem dan worden vernieuwd met een modern balansventilatiesysteem met WTW en CO₂-sensoren of aanwezigheidssensoren. Oude WTW-systemen kunnen onderhoud nodig hebben waarbij de kanalen schoon worden gemaakt.

⁴⁷ Tegenwoordig worden hoofdzakelijk de split-systems toegepast, waarbij het geluid van de buitenunit bij een goede opstelling (niet onder het slaapkamerraam) binnen niet hoorbaar is.

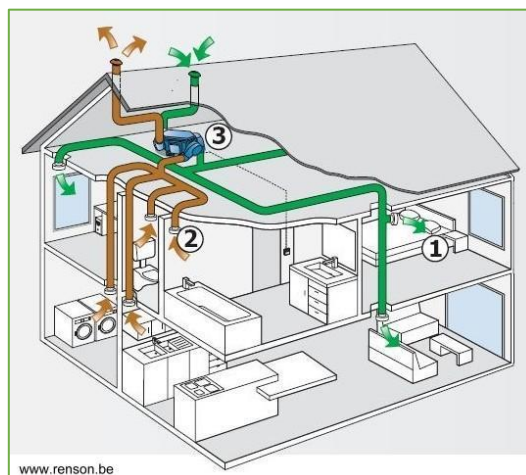
⁴⁸ Een airco met een ventilatiesysteem circuleert slechts de lucht van de kamer door het apparaat.

⁴⁹ Bij het nieuwe thuiswerken op de zolder is het isoleren van de zolder op de duur goedkoper dan een airco.

Figuur 23. Principe balansventilatie. Gelijke toe- en afvoer.

(1) Groen is de aanvoer verse (opgewarmd, bevochtigd, gefilterd) lucht naar de slaapkamers en woonkamers.
(2) Bruin is de afzuiging uit badkamer, WC en keuken.
(3) WTW met sensors voor CO₂ en extra afzuiging vanuit de wasemkap. Goed gescheiden lucht aan- en afvoer op het dak.

Op de in- en uitlaten van de kamers kunnen automatische regelkleppen zitten. Zie ook figuur 34.



Een installatiebedrijf kan de specificaties maken (en dak-doorvoer) en alle materialen aanleveren (CO₂ controle, luchtbevochtiger, filters), waarna de installatie van de kanalen vrij eenvoudig is met de installatie handleidingen die overal bijzitten. Aansluiting tussen de WTW-unit en de luchtkanalen moet met een zachte/elastische verbinding, zodat er geen doorgave is van het trillingen of geluid. Gelet moet worden op de juiste hoeveelheid (minimum, zie norm) lucht aan- en afvoer per kamer en het geluidsniveau van de installatie. Het ontwerp van de uitstroomopening in de slaapkamer is belangrijk voor minimaal geluid (< 30dB(A)). Ventilatieventielen in de kanalen (e.g. Stork Air, Duco, Renson) kunnen het debiet per kanaal regelen.

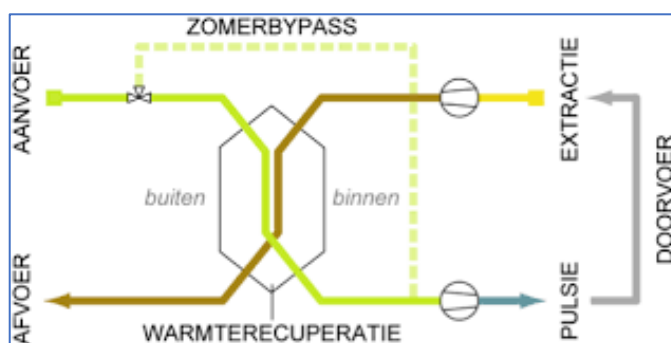
Bij een CO₂-regeling draait het op 10% van het vermogen (ca. 6W) en zal het toestel pas meer gaan ventileren wanneer de CO₂-sensor een te hoge waarde meet.

Bij een wens voor een minimaal aantal kanalen kunnen de deuren aan de onderkant iets korter gemaakt worden voor goede doorstroming vanuit de slaapkamer (met aanvoer) naar de keuken, badkamer, douche of WC (met afvoer). Hoe groter de kanaaldoorsneden zijn, hoe minder geluid. Directe verbindingen tussen slaapkamers moeten voorkomen worden vanwege de geluidsoverdracht via (kleine) openingen.

Wanneer men de investering van een compleet balansventilatie systeem (€ 5000 de centrale unit + € 3000 tot 6000 voor de kanalen voor een 175 m² woning) te hoog vindt kan in plaats daarvan voor de meest gebruikte kamers een decentrale WTW-unit geplaatst worden (systeem D1).

In de zomer kan de ventilator juist warme lucht de woning binnen brengen die je niet wilt; de betere balans-ventilatiesystemen hebben daarvoor een zomer bypass (zie schema beneden).

Figuur 24. Zomer bypass principe van de balansventilatie. Afhankelijk van de instelling van de thermostaat wordt in de zomer de bypass ingeschakeld zodat de woning niet met de warme buitenlucht extra verwarmd wordt. Dit is een bezuiniging op een koeling die anders veel energie kost.



Hoofdstuk 4. Rookmelders, CO₂-melder en CO-melders.

Rookmeldermelder. Rookmelders zijn **verplicht per 1 juli 2022**, ook in bestaande bouw, tenminste één per bewoonbare etage.⁵⁰ Een systeem op batterijen geeft eerst een bijna-lege-batterij signaal; dan moet de batterij vervangen worden. Een systeem op het stroomnet heeft de voorkeur. Er zijn rookmelders op de markt met een accu die 10 jaar meegaat (batterij leeg = niet vervangbaar).

Voor de keuken is een thermische/optische rookmelder geschikt, voor de rest van de woning optische rookmelders. Melders op etages kunnen aan andere melders gekoppeld zijn, en aan de smartphone.

Een rookmelder moet **hoog** zitten en bij een trap/deur of opening, daar waar de rook het eerste komt en doorstroomt, de juiste plaats is cruciaal: aan het plafond bij voorkeur in het midden van de ruimte. Bij de keuken is de kans op vals alarm erg groot (kook-rook). De afstand tussen de rookmelder en de muur moet minimaal 50 cm zijn. Niet in een dode hoek van het plafond plaatsen. Een brandmelder met een laag alarmgeluid is beter hoorbaar.

CO₂-melder.

Een CO₂-melder is ook wat anders dan een rookmelder en geeft aan wanneer je beter moet ventileren omdat het CO₂-gehalte in de (slaap)kamer een te hoog niveau krijgt (en de zuurstof een te laag niveau). Zie woordenlijst.

CO = zeer giftig (koolmonoxide). Een CO-melder is niet wettelijk verplicht maar wenselijk wanneer er open verwarmingstoestellen zijn zoals geisers. Een CO-melder moet laag hangen, onder de 1,5 meter hoog. Dit is vooral nuttig in kamers die een open verbrandingstoestel hebben. Dit type toestellen krijgt zuurstof die nodig is voor de verbranding uit de ruimte waarin het zich bevindt. Een open verbrandingstoestel bij een steeds betere isolatie en kierdichting van de woningen is een geiser met een open vlammetje gevaarlijk, want door die kierdichting komt er te weinig zuurstof in de woning. Een waakvlammetje voor een geiser of een decoratiegashaard verbruikt ongeveer de 30m³ gas per jaar.

Een afvoer-loos open verbrandingstoestel zoals een gaskachels of petroleumkachel is sinds 2016 wettelijk in Nederland verboden. Hierbij komen de verbrandingsgassen in de kamer terecht komen is verboden in Nederland.

Combinatie CO₂ en CO-melder.

De combinatie rookmelder en CO-melder werkt dan niet omdat een rookmelder hoog moet zitten (rook stijgt op). Voor een HR-107 CV is een CO-melder niet nodig want die heeft een eigen lucht aanvoer en rookafvoer. Een CO₂-melder is ook wat anders en geeft aan wanneer je beter moet ventileren omdat het CO₂-gehalte in de (slaap)kamer een te hoog niveau krijgt (en de zuurstof een te laag niveau).

⁵⁰ Bij het geven van energie adviezen moet ik constateren dat bij ongeveer een op de vier woningen de rookmelders niet aanwezig zijn, de batterij leeg is of ze op de verkeerde plaats zitten.

Hoofdstuk 5. Ventilatie van woningen en bij renovatie

Algemene informatie over de verschillende aspecten van woningventilatie⁵¹.

5.1. Enkele voorbeelden

Bij het verduurzamingsproces van gebouwen is een ventilatie-analyse van de situatie belangrijk voor het ontwerpen van een nieuw systeem voor het verkrijgen van een gezond binnenklimaat. Oude woningen van vóór 1940 zijn vaak “goed geventileerd” (tochtend). Bij het na-isoleren worden deze woningen volgens de nieuwe bouwnorm 2015 of BENG behoorlijk kierdicht gemaakt. Aan de warme kant van de thermische isolatie komt dan een dampdichte laag (folie) die waterdamp- en CO₂- maar ook lucht- of zuurstofuitwisseling met buiten **blokkeert**. Dit levert dan ventilatieproblemen op wanneer erbij of bovenop nieuw HR⁺⁺ isolatieglas géén ventilatieroosters wordt geplaatst, of er geen mechanisch (balans)ventilatiesysteem wordt toegepast. Sinds de jaren 1990 werden veel woningen voorzien van spouwmuurisolatie en werden de enkel glas ruiten vervangen door dubbel glas, echter zonder het inbouwen van ventilatieroosters.

*Het blijkt dat veel glazeniers, bij wie offertes worden gevraagd voor nieuwe isolatieruiten, vaak drie zaken vaak **niet vermelden**:*

1. Informatie verschaffen over de noodzaak van ventilatie of ventilatieopties.
2. Informatie verschaffen over beter isolerende ruiten dan de nieuwbouw minimum norm van $U_g = < 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K/W}$ (= $R_g 0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).
3. De noodzaak om voldoende te kunnen ventileren met het nieuwe glas.

*Het resultaat is vaak dat mensen nieuw isolatieglas laten plaatsen wat de **MINIMUM norm** is en er geen voorzieningen voor de ventilatie getroffen worden.*

Het resultaat is dat de woning wel beter geïsoleerd is, maar een ongezond binnenklimaat heeft.

Figuren 25. Links. Oude woning eind 1800. In de jaren 1990 is het schuifraam dichtgezet en is er dubbel glas toegepast. Geen ventilatie strook op het glas vanwege het aanzicht en soms vanwege monumentenzorg.



Rechts: Bij deze

woning kunnen de zijramen van de erker worden opengezet, maar dat gebeurt zelden of nooit. Bij veel erkeraanpassingen werden deze ramen permanent dichtgezet. Het bedrijf dat dan het isolatieglas plaatste, had de woningeigenaar moeten adviseren dat een ventilatiestrook op het glas wenselijk is, maar in de praktijk gebeurt dat zelden. In het verleden was hier te weinig aandacht voor.

⁵¹ Zie ook uitgebreid RIVM-rapport, 148 pagina's: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609330011.pdf>
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/ventilatie/natuurlijke-ventilatie/>



Figuren 26. Links: Oude stolpdeuren, vervangen door isolatieglas deuren met een vast bovenlicht, geen ventilatieopeningen en ook geen balansventilatie systeem.

Midden: Jaren '30 woning waarbij in het bestaande kozijn dubbelglas ruiten zijn gezet, ook zonder ventilatie.

Rechts: jaren '30 woning waarbij het raam en deurhout is vervangen met isolatieglas ruiten. Boven de deur is een uitzetraam en het raam naast de deur kan open (gebeurt zelden). In de bovenhoek de uitblaas wasemkap.



Figuren 27. Links: In deze eind jaren '80 woning zijn ventilatieroosters in het raamhout geplaatst die aan de binnenzijde afgesloten kunnen worden met een schuifje. Bij mechanische afzuiging zijn dergelijke roosters noodzakelijk om constant voldoende buitenlucht binnen te laten.

Midden: Binnenzijde afwerkrooster van ramen links.

Rechts: in de keuken is een uitzetplank toegepast waarvoor de mevrouw op een krukje moest staan.



Figuren 28. Links: Oude ventilatieopening bovenin op het dubbele glas in de keukendeur.

Rechts: Oud model aluminium ventilatierooster boven op het nieuwe glas bij de vervanging van de enkele ruit in de jaren '90.

Niet alleen de binnenkomende lucht is koud, maar als het rooster dicht zit geeft het aluminium ook geen isolatie.



Figuren 29. Linksboven: Ventilatioerooster boven op het dubbel glas van terrasdeuren van buiten gezien.

Midden-boven: Van binnen gezien ventilatioerooster boven op het glas en ventilatioerooster op het kozijn van de naastliggende deur.

Rechtsboven: Zelfde deur van binnen gezien met glaslaten op het raamhout of de deur voor het dikkere isolatieglas.

Rechts: Modern ventilatioerooster boven op het kozijn van binnen gezien. Ruit is Tripleglas⁵². Aan de buitenkant is het onzichtbaar weggewerkt.



Figuren 30. Links: Ventilatioerooster boven op het isolatieglas in het kozijn en van buiten zichtbaar. Al deze types moeten precies op de glasmaat besteld worden. Zelf regulerend raam ventilatioerooster van www.renson.eu de afgevoerde lucht wordt gemeten op VOS, vocht en/of CO₂ en op basis van die meting wordt het raamrooster gereguleerd. Midden: Ventilatioerooster boven op het kozijn, maar van buiten niet zichtbaar; eventueel ook geluiddempend. Hoe dieper het rooster is hoe beter de geluiddemping.

Rechts: Doorsnede van een ventilatioerooster dat boven op het kozijn zit, ook geluid dempend.

Links: CVE Optima 2-pakket van een balansventilatie (met WTW) van Itho Daalderop. In het plenum (centrale box) worden regelkleppen en sensoren (RV, CO₂ of aanwezigheid) aangesloten waarmee de afgezogen ventilatielucht vanuit elke ruimte kan worden geregeld. www.ithodaalderop.nl



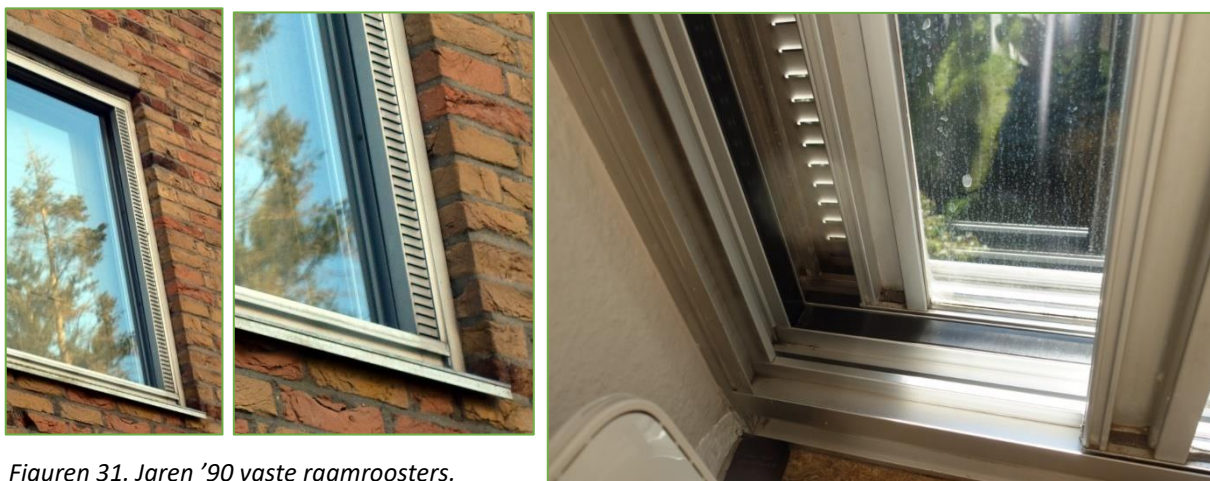
Rechts: CO₂ -gestuurd. C+ DucoBox Focus is een systeem C met geïntegreerde zonesturing door middel van kleppen. Bij correcte CO₂ -en vochtwaardes sluiten de kleppen in het systeem zich automatisch. www.duco.eu Met kozijn ventilatioerooster .

⁵² Bij glas dikten van > 48 mm past het gewone Duco ventilatie rooster niet op het glas, maar wel de Duco-klep.

De bovenstaande voorbeelden geven aan dat er verschillende systemen bestaan die de afzonderlijke ruimten in een woning apart kunnen ventileren en de relatieve luchtvochtigheid kunnen detecteren en aanpassen, fijnstof en CO₂-gehalte kunnen detecteren en warmte terugwinnen (WTW).

Het WTW van de ventilatieboxen is belangrijk, want anders kost het systeem in de winter erg veel energie om constant de van buiten aangevoerd lucht bij te verwarmen. Een vraag-gestuurd systeem met WTW kost veel minder warmte-energie dan een met systeem een constante luchtafvoer (en verwarming) van de mechanische afzuiging uit de jaren 1990. Aanwezigheidssensors⁵³ of CO₂ sensors zijn relevant, zodat het systeem niet overmatig ventileert wanneer er niemand thuis is, en wel extra ventileert wanneer er veel CO₂ gedetecteerd wordt (slaapkamers).

Rond de jaren 1990 werd mechanische woning-luchtafzuiging als standaard in veel nieuwe woningen en appartementen ingebouwd. In de ramen of kozijnen werden dan ventilatieopeningen ingebouwd.



Figuren 31. Jaren '90 vaste raamroosters.

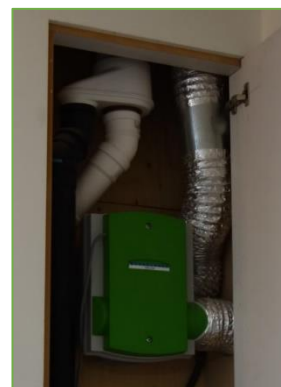
In dit flatgebouw zijn dubbele aluminium ramen geplaatst, waarbij het binnen schuifraam opengeschoven moet worden om het buitenste schuifraam op ventilatiestand te plaatsen. Wanneer beide ramen zijn gesloten is de isolatiewaarde slechts $R_c = 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, de helft van een HR⁺⁺ isolatieruit. Het aluminium kozijn heeft een isolatiewaarde van hooguit $R_c = 0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, wat de hele constructie een groot warmtelek maakt. Het appartement heeft mechanisch luchtafvoer waarbij de inkomende lucht constant moet worden opgewarmd.

De constante afzuiging vereist constante opwarming van de binnenkomende lucht in de winter. In de winter wordt door het opwarmen van de lucht deze droger (zie Mollier diagram Figuur 3). Het effect is dat in veel van deze woningen (o.a. Vinex) de bewoners last kregen van een droge neus en geïrriteerde slijmvliezen. De latere mechanische afvoersystemen hebben twee of drie ventilatiestanden, de hoogste stand voor als men gaat douchen of koken. Het afzetten van deze systemen is soms alleen mogelijk door de stekker eruit te trekken, hetgeen moeilijk is.

Bij woningen die in de jaren 1990 na-geïsoleerd werden en met isolatieglas werden voorzien (vaak zonder ventilatiestroken), werd soms een mechanische afzuiger ingebouwd. Bij het aanzetten van de wasemkap in de keuken of de lichtsakelaar in de douche verhoogt deze de afzuigcapaciteit.

Een latere verbetering is de installatie van gelijkstroommotoren op de ventilatoren die dan minder elektrische energie gebruiken.

⁵³ Een bewegingssensor voor de slaapkamer is niet handig want als je lang stilligt gaat de ventilatie na een poosje in een lagere modus draaien omdat er geen beweging wordt gedetecteerd.



Figuren 32.

Links: Vast maar regelbaar ventilatierooster. Midden: Oude mechanische afvoer in een appartement dat in alle kamers een kozijn met ventilatiesleuven heeft. Alleen uit te schakelen door de stekker eruit te trekken.

Rechts: later ingebouwde mechanische afvoer-ventilatie voor de badkamer en keuken naast de HR-CV ketel rookkanalen. Deze installatie is vanuit de keuken en badkamer te regelen (vraag gestuurd).

Bij een mechanisch afzuigstelsel is het redelijk eenvoudig om dat uit te bouwen naar een balansventilatiesysteem. De ventilatie-box wordt dan groter en de verse (opgewarmde) lucht-aanvoer moet dan naar de slaap- en woonkamers met nieuwe kanalen. De afvoer kan dan via de gang of het trappenhuis en via het toilet, badkamer en keuken via de bestaande kanalen.

Bij oude woningen kan een oud schoorsteenkanaal gebruikt worden om daar een aanvoerkoker door te trekken vanuit de zolder naar de slaapkamers en woonkamer. Bij houten vloeren is het maken van een doorvoer vanaf de zolder redelijk eenvoudig

In veel appartementengebouwen komen mechanische afzuigsystemen voor. In dat geval is er meestal een Vereniging van Eigenaren (VvE) die aanpassingen in het gebouw moet goedkeuren. Dat is in ieder geval nodig wanneer de afvoeren (natuurlijke stroming) of afzuigkanalen (mechanisch) van de verschillende appartementen gecombineerd zijn tussen de boven elkaar liggende appartementen.

Een centrale afzuiging voor meerdere appartementen tegelijk is met een balansventilatiesysteem niet mogelijk. De aan- en afvoerkanalen moeten dan per appartement naar de eigen WTW-unit lopen (met gescheiden in- en uitlaat), hetgeen veel werk oplevert om de extra kanalen aan te leggen.

Figuur 33. Achterkant oud flatgebouw.

In oude en kleine appartementsgebouwen (1950-1960) is het vaak moeilijk om balansventilatie in te bouwen vanwege gebrek aan ruimte.

Bestaande ventilatiekanalen moeten voor alle drie of vier etages boven elkaar worden omgebouwd om zowel de aanvoer van verse lucht en de afvoer per appartement te regelen. Dit heeft de samenwerking nodig van de Vereniging van Eigenaren en de individuele bewoners of huurders.

Bij dit gebouw is er voor de bovenste etage wel ruimte op zolder. Hier kunnen dan de WTW's geplaatst worden ten koste van de ruimte van de bovenbewoner. Dan heeft het gebouw nogal wat isolatieproblemen. Het aanbouwen van een verticale zone t.p.v. de balkons geeft dan meer ruimte voor de keukens en de nodige installaties.

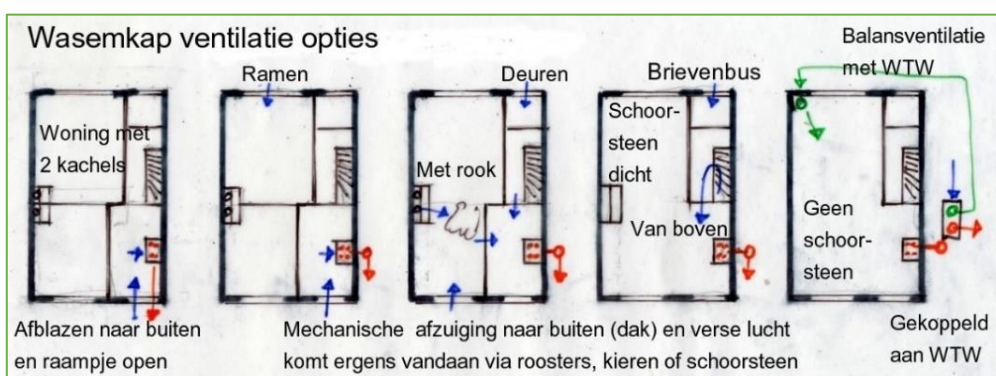


Hoofstuk 6. Wasemkap fornuis

Elektrisch koken geeft waterdamp en fijnstof, terwijl koken op gas ook verbrandingsgassen geeft. Die waterdamp en verbrandingsgassen moeten allemaal uit de woning afgevoerd worden; hiervoor dient de afzuig-wasemkap. Het fijnstof (inclusief vet en luchtjes) kan naar buiten worden afgevoerd of gefilterd, combinatie met actieve koolstoffilters.

Wanneer de afvoer-wasemkap in de keuken wordt aangezet, moet de lucht ergens uit de woning vandaan komen. Bij de meeste woningen is dat soms via het trappenhuis vanuit de bovenste etage (open raam in de slaapkamer).

Figuur 34. Verschillende opties bij de methode van afzuiging door de wasemkap, waarbij de verse lucht in de woning komt. De middelste optie zal het branden van de haard verstoren en rook naar binnen zuigen.



De meeste bewoners hebben geen idee waar de lucht dan vandaan komt die door de wasemkap naar buiten wordt afgeblazen. Bij een kierdicht gemaakte woning kan lucht door het open oude schoorsteenkanaal (met kachel) worden aangezogen, waardoor er zelfs een verbrandingslucht kan worden waargenomen. Bij een haard die werkt wordt de rook dan de kamer ingezogen⁵⁴.

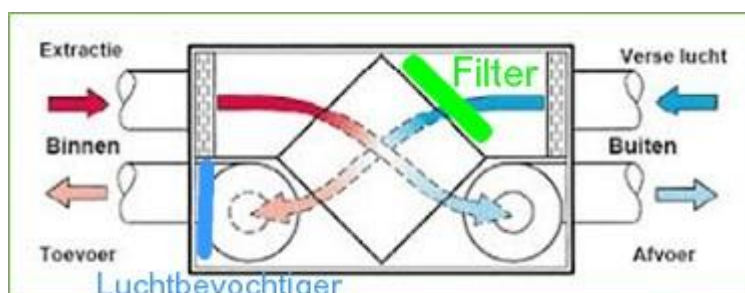
Figuur 35. Wanneer de wasemkap in de keuken aan staat en $\approx 200 \text{ m}^3/\text{uur}$ afzuigt, moet die lucht ergens vandaan komen. Bij een haard of kachel in dezelfde ruimte (woonkamer-keuken) zal de onderdruk van de wasemkap lucht uit de schoorsteen aanzuigen. Wanneer de haard of kachel aan is dan zal de rookafvoer sterk belemmerd worden.



Bij een balansventilatiesysteem (WTW, systeem D) zal de warmtewisselaar de binnenkomende koude lucht opwarmen met de uitgaande warme lucht. Die opgewarmde lucht komt dan via een fijnstoffilter en apart kanaal naar de slaap- en woonkamers. Bij oude woningen kan dat kanaal door een oude schoorsteen getrokken worden als die nog niet is verwijderd.

⁵⁴ Het effect is dan rook in de kamer én onvolledige verbranding van het hout met koolmonoxide (CO) uitstoot (giftig). Wanneer de haard niet brand dan is vaak een brand of rooklucht in de woning het gevolg.

Figuur 36. In een WTW zal de uitgaande warme lucht de binnenkomende koude lucht verwarmen. De in- en uitlaat op het dak moeten voldoende uit elkaar staan om vermenging van de uitgaande en ingezogen lucht te vermijden. Efficiëntie >95%.



Figuren 37. Links. Bij veel woningrenovaties wordt de (enkele of dubbele) schoorsteen in haar geheel verwijderd om meer ruimte te maken in de woonkamer.

Het bovenliggende gemetselde kanaal kan beter ook verwijderd worden (tot en met de zolder/dak). De ruimte kan dan gebruikt worden om een of meer luchtkokers vanaf de balansventilator (op zolder) naar de slaapkamer of woonkamer te berengen.

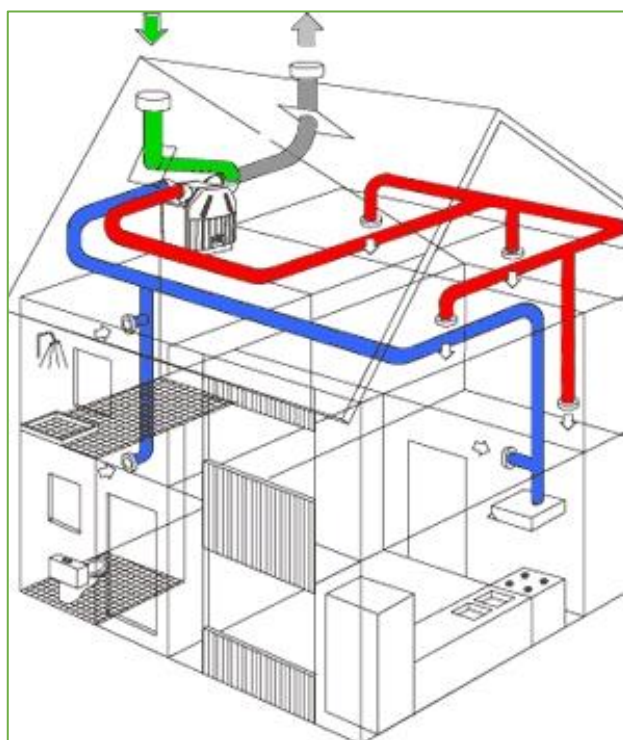
Rechts. Verschillende soorten kanalen.



Op zolder is er vaak ruimte om langs de onderhoek van het schuine dak de kanalen te laten lopen die naar de slaapkamers gaan of afvoeren vanuit de badkamer. De wasemkap in de (woon)keuken moet wel op de afvoerleiding van het balansventilatie systeem worden aangesloten.

Figuren 38. Rechts. Systeem D2. Op het dak zijn een gescheiden in- en uitlaat. Vanuit de warmtewisselaar lopen kanalen langs de dakrand naar de slaapkamers, waarvan één naar de woonkamer. De afzuiging gebeurt via andere (bestaande) kanalen vanuit de keuken, toilet en badkamer. De kanalen kunnen rond of plat zijn (vloer-plafond).

Links. Voorbeeld van platte kanalen waardoor minder hoogte op zolder wordt verloren.



Wanneer een installatiebedrijf de warmtewisselaar plaatst met de dak in- en uitlaten en de materialen voor de kanalen levert, kan een Doe-Het-Zelver de leidingen zelf aanleggen. Op deze manier worden stelposten vermeden en blijven de kosten laag.

Een belangrijk gedeelte van de kosten zijn de afwerkingen rondom de in- en uitlaatpunten. Bij woningen met houten vloeren is de hoeveelheid werk van inlaten maken eenvoudiger dan met betonnen systeemvloeren.

De geïnstalleerde afzuigcapaciteit voor de keuken hoeft niet de hele dag te draaien, maar wel **tijdens en een poosje na het koken**. Koken op elektriciteit geeft geen verbrandingsgassen, maar wel waterdamp en fijnstof (braden, wokken). Door de actieve koolstof- of plasmafilters in de afzuiginstallaties kan bij recirculatiekappen het fijnstof opgevangen worden, maar de waterdamp blijft dan rondcirculeren en slaat neer op de koudste oppervlaktes. Een balansventilatie verwijdert de waterdamp uit de woning. Sommige filters van de afzuigunits kunnen periodiek in de vaatwasmachine gezet om vet te verwijderen. Plasmafilters kunnen in een hete oven opgewaardeerd worden, maar zijn duurder in aanschaf.



Figuren 39. Links. Afzuiging boven de kookplaat. Midden boven: Randafzuiging is 25% meer efficiënt dan met afzuiging in het midden.

Rechtsboven. Downdraft afzuiging zijwaarts boven de kookplaat vereist geen installatie boven het fornuis en deze kan men laten zakken na het koken.

Rechts: Kookplaat met downdraft (neerwaarts). Deze twee typen downdraft hebben een afzuiginstallatie onder de kookplaat nodig. De lucht moet naar beneden getrokken worden en de zuigcapaciteit moet daarom wel 30% groter zijn dan bij boven afzuiging. Hierdoor zijn ze minder efficiënt.

Noot: De kookplaat versies moeten wel makkelijk schoongemaakt kunnen worden als het eten overkookt.



Een *Downdraft* afzuigkap heeft 30% meer capaciteit nodig dan een bovenafzuiging omdat warme lucht vanzelf naar boven gaat. Een kookplaat met *downdraft* afzuiging is meestal duurder dan een wasemkap boven het fornuis, maar er is dan geen installatie boven het fornuis nodig die het zicht belemmert (bijvoorbeeld bij een kookeiland). Omdat dit de nieuwste modellen zijn, zijn ze ook vaak stiller in vergelijking met oudere modellen.

Een afzuigkap met geïntegreerd randafzuiging **luchtgordijn** is een van de energiezuinigste opties. Dit gordijn creëert een blokkade rondom de kookplaat. Hierdoor blijven de kookdampen en geurtjes binnen dat gordijn en verspreiden zich niet verder dan boven de kookplaat. De afzuigcapaciteit kan dan klein blijven tot 150 m³/h, waardoor de kooklucht efficiënt en energiezuinig wordt afgevoerd.

Een model is de Healthbox® II (Compact)⁵⁵. Deze kan ook als reguliere kamerventilatie bij een balansventilatie systeem fungeren.

Figuur 40. Afzuigkap boven de kookplaat vereist minder capaciteit. Afzuigkap met rondom luchtgordijn vereist de minste afzuigcapaciteit (-25%) en laat de minste luchtjes ontsnappen.



Figuren 41. Zonder WTW kan de afvoer ook direct naar buiten gaan, via de kelder of kruipruimte. De luchtaanvoer mag dan niet boven de uitlaat zitten.

Rechts: Gebruik van kanalen met geleide-schoepen verlaagd de luchtweerstand.



Keukenventilatie afvoerbuizen onder de vloer (kelder, kruipruimte) moeten geïsoleerd zijn zodat de waterdamp in de afvoergassen niet in de buizen condenseert. Het geluidsniveau is afhankelijk van de motor, de locatie van de motor en de afmeting van de aanzuigopening in de kookplaat. Hoe smaller de opening en hoe meer lucht er wordt afgezogen, hoe meer lawaai het systeem maakt. Een acceptabel (nog net te tolereren) geluidsniveau binnen is tussen de 51 dB en 66 dB wanneer deze op maximaal niveau aanstaat.⁵⁶ Het geluidsniveau aan de buitenkant mag niet meer zijn dan 40 dB(A) op de erfgrans.

Figuur 42. Een elektronische regelklep zorgt ervoor dat er automatisch luchtaanvoer is wanneer de afzuigkap wordt aangezet. Door de klep in een buitenrooster (in de buitenmuur) wordt de ontstane onderdruk passief worden gecompenseerd. Speciaal een raam openzetten hoeft dan niet.



De afgezogen lucht van (recirculatie) keukenafzuigkappen (met actieve koolstoffilters)⁵⁷ kan:

⁵⁵ De verschillende verwijzingen naar bedrijven of producten zijn niet noodzakelijk een aanbeveling, maar een voorbeeld van de mogelijkheden. Bedrijven zullen hoofdzakelijk dingen aanbevelen die ze als eigen product hebben of waarmee ze ervaring hebben.

⁵⁶ Dit is meteen de dB(A)-waarde want het hoofd van de kok staat vlak bij de wasemkap (afzuiging).

⁵⁷ Koolstoffilters kunnen licht gereinigd worden door ze 4X per jaar voor 2 uur in een hete oven (200 °C) geplaatst worden (stroomkosten), maar na een tiental beurten moeten ze vervangen worden of elke twee jaar. Dit is wel afhankelijk van het filter; bij sommige soorten moeten ze halfjaarlijks vervangen worden en is

- a. Vrij de ruimte ingaan = ongeleid; volledige recirculatie. Hiermee wordt de waterdamp niet verwijderd. Bij onvoldoende zuivering blijven de kookgeuren en rook hangen.
- b. Gedeeltelijk de ruimte in en gedeeltelijk afgevoerd, en gedeeltelijk naar buiten. In dit geval moet er ergens verse lucht vandaan komen.

Recirculatie is bij koken op gas niet geadviseerd, de verbrandingsgassen worden dan namelijk niet afgevoerd. Bij koken op gas is de minimum bouwnorm voor ventilatie geadviseerd.

Samenvatting ventilatie.

- Het (ouderwetse) mechanische afzuigsysteem (sinds rond 1980, systeem C)⁵⁸ zorgt voor constante vernieuwing van de binnenlucht met buitenlucht, waarbij door de ventilator de (warme) binnenlucht naar buiten wordt afgevoerd. De hierdoor gecreëerde onderdruk in de woning trek lucht aan door de raamroosters.
- Dit mechanisch afzuigsysteem (C) is niet energiezuinig en **verlaagt het energielabel**.
- Bij het dichthouden van de raamroosters zal de wasemkap onvoldoende werken hetgeen bij koken op gas ongewenst is.
- Een open haard of schoorsteenkanaal kan/zal een aanvoer zijn van lucht en kan een verstoring veroorzaken bij een balansventilatiesysteem (systeem D2 met WTW).
- De mechanische afzuigsystemen moeten een volumeregeling hebben, liefst met drie standen: 0 = uit, 1 = lichte afzuiging en 2 = veel afzuiging voor douchen en koken. In veel mechanische afzuigsystemen is er geen uitstand aanwezig. In dat geval kan er een extra uitschakelaar op worden aangebracht. Het is ook mogelijk om een timer te plaatsen.
- Mechanische afzuig- of uitblaassystemen mogen niet voor verschillende appartementen op hetzelfde kanaal gezet worden. Anders blaast de lucht van de ene naar de andere woning.
- Een balansventilatiesysteem (evenveel lucht erin als er uit) wint de warmte van de binnenlucht terug (WTW) en is daarom energiezuiniger en **verbetert het energielabel**.
- Om mechanische afzuigsystemen goed te laten werken is kierdichting nodig zodat er geen verkeerde luchtstromingen bestaan.
- Kierdichting is niet erg relevant als er geen mechanische ventilatie is.
- Bij goede kierdichting zonder mechanische aanvoer/afvoer is het belangrijk dat er voldoende vaar de ventilatieroosters of ramen open worden gezet voor de ventilatie.
- Bij kierdichting zonder mechanische ventilatie is het relevant om een elektronische regelklep te plaatsen (*Figuur 42*) zodat toevoer van lucht automatisch geregeld wordt.
- Balansventilatiesystemen kunnen vervangbare filters, luchtbevochtigers, aanwezigheids sensors en CO₂ sensors (slaapkamers) hebben, en een zone regeling.
- Lans autosnelwegen en bij industrie zijn goede kwaliteit luchtfilters aanbevolen.
- Luchtfilters moeten makkelijk en periodiek vervangen of gereinigd kunnen worden.
- Een wasemkap voor koken op gas vereist een grotere capaciteit dan voor elektrisch koken.
- Wasemkappen moeten filters hebben die gereinigd of vervangen kunnen worden.
- Naar beneden afzuiging bij kookplaten heeft 30% meer afzuigcapaciteit nodig dan boven afzuiging.
- Boven-afzuiging met een lichtgordijn boven kookplaten zijn het meest energie-efficiënt.
- Recirculatie wasemkappen verwijderen niet de verbrandingsgassen of waterdamp en zijn daarom niet geschikt voor koken op gas.

afhankelijk van het aantal kookuren. Er zijn ook plasma filters die het vuil, vet, pollen en bacteriën elektrisch verbranden en 15 jaar meegaan; ook deze verminderen de waterdamp echter niet.

⁵⁸ Bij deze systemen zitten er altijd ventilatieroosters in of op de kozijnen. Die moeten open staan.

- Bij het balansventilatiesysteem (systeem D2 met WTW) kan zowel de wasemkap met afvoer als de recirculatie wasemkap gebruikt worden en kan de wasemkap onafhankelijk van het systeem werken, bijvoorbeeld direct naar buiten afvoeren⁵⁹. In *Figuur 38 rechts*, is er een constante kleine luchtafvoer boven de wasemkap, terwijl de grotere (kook)lucht afvoer werkt bij het aanzetten van de wasemkap.
- Bij een recirculatie-wasemkap én balansventilatie is er in dezelfde ruimte ook een eigen luchtaanvoer naar de woonkamer en afvoer van de keukenlucht.
- Nauwe of ruwe luchtkanalen veroorzaken meer luchtweerstand (kost energie) en geluid (slaapkamers) dan ruime en gladde kanalen.
- Gelijkstroom ventilatoren gebruiken veel minder energie dan wisselstroom ventilatoren.
- Van oude mechanische ventilatie afvoersystemen kunnen de luchtkanalen gebruikt worden voor een balansventilatie systeem.
- Bij verbouwingen kunnen ventilatiekanalen zelf worden aangelegd nadat een installateur de centrale balansventilatie eenheid heeft geplaatst.
- De meeste Airco's verversen de lucht niet, maar circuleren de lucht wel. Opgelet: met 'ventileren' kunnen de twee betekenissen (verversen en circuleren) worden bedoeld.

⁵⁹ Bij een onafhankelijke werking zal het enige verstoring geven, maar die verstoring is er dan alleen tijdens het koken. In sommige situaties kan deze optie zinvol zijn als het alternatief veel breekwerk en extra kanalen eist.

Annexe: Verklarende woordenlijst.

De verschillende informaties over ventilatie, isolatie, keukens, kachels en het gebruik van de woning hebben met elkaar te maken. Alle informatie in dit document is wel ergens op het Internet te vinden⁶⁰, maar vaak op verschillende websites die de bezoeker elke keer slechts een klein stukje van alle onderlinge relaties laat zien. Bedrijven vertellen hoofdzakelijk de voordelen.

De tekst van dit document is dus meer een soort samenvatting. Aan de hand van de volgende verklarende woordenlijst wordt de meest relevante informatie geleverd⁶¹.

In de volgende verklarende woordenlijst worden in enkele gevallen bepaalde producten genoemd als voorbeeld. Dit betekent niet meteen dat het product wordt aanbevolen, maar dat het een goed voorbeeld is van het besproken onderwerp. Bij advertenties wordt meestal slechts datgene vermeld wat voordelig is voor de verkoper, niet de nadelen.

Ademen. Het proces van in- en uitademen van mensen, dieren en planten⁶². Tijdens elke in-uitademing wordt bij een volwassene ongeveer een halve liter lucht (500 ml) ongeveer 20 ml (= 0,02 liter = volume van de bovenste 1 cm van je pink) zuurstof opgenomen in ons bloed.

Een liter = 1 dm³ lucht⁶³ weegt ongeveer 1 gram; 0,02 liter weegt dan 0,02 gr per in-uitademing.

Wanneer iemand in rust 15 x per minuut in- en uitademt verbruikt deze 15 x 60 x 24 x 0,02 gr = 432 gr zuurstof per dag. Met af en toe wat bewegen dus misschien 1 kg/dag.

Het zuurstofgehalte van de lucht (op zeeniveau) is ongeveer 21%. Het zuurstofgehalte van de uitgeademde lucht is ongeveer 17%, dus ongeveer 4% minder dan de ingeademde lucht. De in het bloed opgenomen zuurstof (dus ongeveer 1kg O/dag) wordt gebruikt voor verbranding in de cellen en daarmee het warmhouden van ons lichaam. De verbrandingsgassen CO₂ (kooldioxide) en waterdamp (3%) worden via het bloed en longen weer uitgeademd, waarbij warmteverlies optreedt.

Gedurende een nacht van 12 uur wordt **per persoon** 12 x 60 x 15 x 0,5 liter = 5400 liter, is 5,4 m³ lucht in- en uitgeademd. In een gesloten⁶⁴ ruimte van 30 m³ (kamer van 3m x 4m x 2,5m hoog) daalt het zuurstofpercentage in de lucht en het CO₂ gehalte zo sterk dat je er 's **nachts hoofdpijn van kunt krijgen**. Bij onvoldoende zuurstof kan je het ook koud krijgen; een dikkere deken helpt dan niet veel, wel het raam openzetten om verse lucht binnen te laten.

Afzuiging toilet. Het is mogelijk om in het toilet, douche en badkamer een aparte licht-geschakelde afzuiging te installeren. Deze hebben een timer die zorgt dat de afzuiger nog enkele minuten na-draait wanneer het licht weer wordt uitgedaan.

⁶⁰ Zie <https://milieucentraal.nl/energie-besparen/> en <https://www.rvo.nl/> en dan naar onderwerpen A-Z

⁶¹ Het verdient aanbeveling om eerst door de verklarende woordenlijst heen te lopen en de woorden of uitdrukkingen na te lopen waarvan u niet zeker bent. De woordenlijst geeft ook een korte uitleg over de natuurkundige aspecten die aan ventilatie zijn gerelateerd. Veel van deze informatie is verzameld/overgenomen van Wikipedia.

⁶² Zie voor ademhaling bij mensen: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Ademhalingsstelsel_\(mens\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Ademhalingsstelsel_(mens)). En www.joostdevree.nl En <http://www.tienvoorbiologie.nl/sites/10voorbiologie/files/pdf/vwo-hoofdstuk-ademhaling.pdf>

⁶³ Een m³ lucht weegt ongeveer 1 kg. CO₂ is iets lichter dan zuurstof en stijgt op in de atmosfeer.

⁶⁴ Hermetisch dichte ruimtes bestaan bijna niet; ruimtes met te weinig ventilatie echter heel veel.

Onwenselijke luchtjes en vocht worden zo de woning uitgewerkt en vervangen door lucht uit de gang. Deze afzuiging maakt tijdelijk veel lawaai, vooral als ze in een plafond of muur gemonteerd zijn dat dan gaat meetrillen. Een trillingvrije ophanging is mogelijk.

Afzuiging keuken, wasemkap. Een gasfornuis en gasoven produceren verbrandingsgassen (CO_2), waterdamp, stikstofdioxide (NO_2) en fijnstof tijdens het koken. Deze moeten altijd worden afgevoerd. De meeste keukens afzuigkappen hebben verschillende standen van laag ($250 \text{ m}^3/\text{uur}$) tot hoog ($750 \text{ m}^3/\text{uur}$) en kunnen flink lawaaiig zijn. Een elektrisch fornuis (IR of inductie), magnetron of elektrische oven produceert binnenshuis geen verbrandingsgassen maar wel waterdamp en fijnstof; de afzuiginstallatie kan dan op een iets lagere capaciteit draaien dan bij een gasfornuis.

Bij beide verhittingssystemen produceren bakken en braden en wokken veel fijnstof dat weg gefilterd moet worden (koolstoffilters) en/of afgezogen. Filters moeten periodiek schoongemaakt of vervangen worden (kosten). Na het koken kan het nodig zijn dat de afzuiger nog enige tijd blijft doordraaien om luchtjes te verwijderen. Dat is vooral belangrijk bij een open keuken. Koken van water en voedsel (inclusief stoven en stomen)⁶⁵ produceert waterdamp dat ook moet worden afgevoerd, want dit kan makkelijk op en in de bouwconstructie condenseren.



Figuren 43. Verschillende modellen en ook vrij hangende modellen bestaan (voor boven een kookeiland), met of zonder filters, verlichting en capaciteit, kosten en onderhoudskosten. Bij een balansventilatiesysteem moeten ze bij voorkeur aan dat systeem gekoppeld zijn, anders werken ze verstorend.



Bakken, braden, wokken en frituren leveren in oplopende mate fijnstof op die op elk type fornuis of apparaat kan plaatsvinden. Dit fijnstof moet ook via de afzuigkap worden afgevoerd. Bij recirculatie afzuigkappen dient er dan een F7 fijnstoffilter worden toegepast⁶⁶.

Bij open keukens moet dus extra aandacht gegeven worden aan een goed werkend afzuigstelsel met voldoende toevoer van verse lucht.

⁶⁵ Bij het gebruik van de snelkookpan (*pressure pan*) wordt de kook en stooftijd aanzienlijk verkort. Niet alleen kost dit de helft of minder kookenergie, maar levert ook minder waterdamp op dat moet worden afgevoerd.

⁶⁶ Zie: <https://sustainableenergysolutions.nl/2018/01/15/ventileren-maar-dan-wel-goed-en-weg-met-de-open-keuken/>

Verschiedende modellen 'downdraft' afzuigkappen zijn beschikbaar. Bij elektrisch koken is een recirculatiesysteem toepasbaar met koolstoffilters.⁶⁷ Een rand-afzuigkap is ongeveer 25% meer effectief dan een afzuigkap die een centrale afzuiging heeft.

Een aparte keuken wasepak (los van een balansventilatie systeem) verstoort het centrale WTW-systeem. Een goede keukenafzuigkap heeft minstens dezelfde capaciteit als de centrale woning balansventilatie. Een keukenafzuigkap dat de balansventilatie van de woning minder verstoort is een automatische klep die opengaat wanneer de wasepak wordt aangezet en verse lucht binnenlaat. De klep is gekoppeld aan een Berbel-afzuigkap⁶⁸ en opent zich dan volautomatisch.

Zie ook: <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2020/09/LA-factsheet-Betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen.pdf>

Balansventilatie. Centraal mechanisch ventilatiesysteem met gelijke hoeveelheden van lucht aan- en afvoer, vaak met een WTW en filters. Meestal wordt deze installatie op de hoogste etage ingebouwd, met kanalen door de hele woning. De verwerkte luchthoeveelheid kan meestal geregeld worden (laag, midden en hoog), bijvoorbeeld door aanwezigheidssensors of CO₂ sensors; bij gedetecteerde aanwezigheid van mensen of een verhoogd CO₂ gehalte in de lucht wordt er dan meer geventileerd. De oude (warme) lucht wordt meestal afgevoerd via keuken, toilet en badkamer (vocht). Inkomende lucht wordt bij voorkeur gefilterd; hoe fijner het filter hoe beter. Deze filters moeten periodiek gereinigd of vervangen worden, 2 tot 4 x per jaar.

Bouwbesluit. Zie pagina 4.⁶⁹

Commentaar: De ventilatienorm van het bouwbesluit gebaseerd is op een volle bezetting van de ruimtes, zijnde minstens twee personen in een slaapkamer (10-12 m²) en 4 tot 6 personen in de woonkamer (20-30m²). De toilet en badkamer hebben even nodig om de lucht te verversen en kan dus verlichting-geschakeld zijn met na-ventileren van meer dan 1 kwartier.

Circulatiestand afzuigkap. Er zijn afzuigkappen die de ongeveer 50% van de opgezogen lucht ontdoen van luchtjes en de gefilterde lucht weer terugvoeren in de ruimte. Dit zuiveren gebeurt door middel van een koolstoffilter, waarna de gefilterde lucht langs de rand van de kap naar beneden wordt blazen, zodat er een luchtgordijn rondom het fornuis ontstaat⁷⁰. De warmte, de verbrandingsgassen en dus ook het fijnstof blijft dan binnenshuis.

Fijnstof kan hiermee redelijk voorkomen worden door de toepassing van een F7 fijnstoffilter, maar de CO₂, waterdamp en stikstofdioxide (NO₂) blijft dan toch in de teruggevoerde lucht. Bij de recirculatiestand zullen de filters vaker vervangen of schoongemaakt moeten worden (elke 3-6 maanden). Bij de afvoerstand gaat alles naar buiten en komt de nieuwe lucht via andere kamers naar de keuken. Vooral bakken en braden geeft veel fijnstof en moet bij voorkeur afgevoerd worden.

⁶⁷ Voor downdraft afzuiginstallaties is een grotere afzuigcapaciteit nodig omdat dit tegen de natuurlijke luchtbewegingen ingaat. Bij downdraft afzuiging zal overkookvocht in het systeem komen. Het moet dus makkelijk schoongemaakt kunnen worden. Niet iedereen wil dat extra schoonmaakwerk.

⁶⁸ Zie bijvoorbeeld <https://www.berbel-afzuigkappen.nl/> met schuine wasemkappen.

⁶⁹ Zie: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd3/afd3-6>

⁷⁰ Atag heeft een HR-wasepak die deels recirculatielucht gebruikt: Duo Logic HR-systeem.

Een goede keukenafvoer in een woonhuis heeft een capaciteit van $> 250 \text{ m}^3/\text{uur}$ tot $750 \text{ m}^3/\text{uur}$. Voor $250 \text{ m}^3/\text{uur}$ is een kanaaldiameter van $\geq 12,5 \text{ cm}$ aanbevolen.

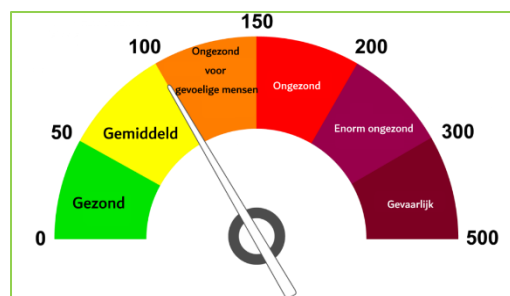
CO₂ en 1200 ppm. De hoeveelheid Carbondioxide (CO₂) in de lucht is een belangrijk meetgegeven voor de luchtverversing en wordt gebruikt in veel schakel en kleppenregeling van ventilatie apparatuur. De gezondheidsraad (inspectie gezondheidszorg) geeft sinds 1984 de grenswaarde aan van maximaal 1200 ppm aan CO₂ concentratie (Bouwbesluit, Ventilatie richtlijn NEN 1089). Het CO₂-niveau wordt aangegeven in *Parts per Million* (ppm).

Niveau	Meting ppm	Omschrijving
0	350 - 450	Frisse buitenlucht, niet in de buurt van snelwegen of industrie
I	450 - 800	Goed geventileerde ruimte; te accepteren voor woningen.
II	800 - 1200	Weinig geventileerd; muffheid, suf of onfrisheid, concentratieproblemen. Metertje gaat piepen bij 1000 ppm
III	1200 - 2000	Onvoldoende geventileerd, onbehagelijk, onfris en muf met slaperigheid en hoofdpijn, geïrriteerde ogen en verminderde leerprestaties. Metertje gaat harder piepen bij 2000 ppm. Mogelijk optreden van gezondheidsklachten, verergering van astma, luchtweginfecties, toename van allergieën en ziekteverzuim.
IV	2000 - 5000	Urgente noodzaak voor ventileren, concentratiestoornis, versnelde ademhaling en hartslag. Bij regelmatig of langdurig optreden grote kans op flinke gezondheidsproblemen en verergering daarvan.

Het Bouwbesluit geeft een richtlijn voor het aantal m^3/uur ventilatiecapaciteit dat per type ruimte nodig wordt geacht. Ruimtes waar vocht of VOC's (VOS) worden geproduceerd hebben meer ventilatie nodig. Als er niemand in de ruimte aanwezig is kan de ventilatie minder zijn of uitgezet.

Figuur 44. CO₂-meters. In de markt zijn een groot aantal CO₂-meters beschikbaar. Hoe goedkoper ze zijn hoe onnauwkeuriger. Echter wanneer de meters een te hoge CO₂-concentratie meten (boven de 1200 ppm) kunnen ze een luid signaal geven. Dan is het meestal wel noodzakelijk om een verbetering van de ventilatie te realiseren.

<https://producten-vergelijker.nl/blog/beste-co2-meter/>



CO₂-meters: De beste CO₂-meters hebben een NDIR-kwalificatie. Een **niet-dispersieve infraroodsensor** is een betrekkelijk simpel spectroscopisch apparaat dat vaak gebruikt wordt voor analyse van de samenstelling van een gas zoals koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Het CO₂-gehalte wordt gemeten in parts per million (ppm) waarbij het apparaat zichzelf automatisch kalibreert. Soms geven kleurcodes het gehalte aan.

Verscheidende meters meten ook de temperatuur en luchtvochtigheid. Er zijn ook apparaten die de VOC's meten en fijnstof. Geavanceerde apparaten hebben een datalogger (voor scholen).

Condensatie: Condensatie ontstaat wanneer lucht met een hoge luchtvochtigheid afkoelt, bijvoorbeeld omdat het in contact komt met een kouder oppervlak (muur, glas). Warme lucht kan meer vocht vasthouden dan koude lucht.

Vlak aan een kouder oppervlak daalt de luchttemperatuur en stijgt de luchtvochtigheid tot haar verzadigingspunt en condenseert dan op dat koude oppervlak. Dichte oppervlaktes zoals glas, tegels, plastic en metaal kunnen dit vocht niet absorberen, maar poreuze oppervlaktes zoals pleisterwerk, baksteen, houtvezelplaat en dergelijke zullen het vocht absorberen.⁷¹

Condensatie van woningvocht treedt het eerste op bij enkel glas ruiten. Het vocht dat naar beneden druipt kan de oorzaak zijn van houtrot in de onderdorpel van het raamhout of kozijn.

Het goed schilderen van de binnenzijde van houten kozijnen en de verf 2 mm doorzetten op het glas is een belangrijke maatregel om houtrot te voorkomen en het kozijn duurzaam te houden.

Bij onvoldoende ventilatie of luchten van de woning zal de uitgeademde waterdamp de luchtvochtigheid verhogen en op de duur schimmel veroorzaken. Bij douchen of wasdrogen zonder goede ventilatie zal de vochtigheid in de woning sterk toenemen.⁷²

In de lucht bevinden zich schimmelsporen die vocht nodig hebben om zich te ontwikkelen (>80% RV).



Figuren 45. Links. Condensatie aan de binnenkant van oud dubbel glas en enkel glas. Het vocht druipt langs het raam naar beneden. Als dit tussen het glas en het hout komt kan er rot optreden. Schilderwerk moet 2 mm doorlopen tot op het glas. Rechts. Tripleglas met douw op de buitenkant van de ruit. Dit is een teken dat de ruiten goed isoleren 😊. Na enige tijd verdwijnt deze dauw.

Dauw. Dit is condens dat 's morgens buiten plaatsvindt. 's Nachts koelt de omgeving (lucht, aarde, planten) af door warmte-uitstraling. Hierdoor verhoogt de luchtvochtigheid. 's Morgensvroeg wordt de laagste temperatuur bereikt en daarmee de hoogste luchtvochtigheid. Wanneer de luchtvochtigheid boven de 100% komt zal condens optreden. Dit slaat neer op alle oppervlaktes en is zichtbaar op gladde gesloten oppervlaktes zoals bladeren, dakpannen, glas en metaal (auto).

Tripleglas of Vacuümglas isoleert goed. In de vroege ochtend is het buiten het koudst. Bij een hoge luchtvochtigheid buiten en temperaturen van iets boven het vriespunt kan ook dauw (condens) op de buitenkant ontstaan; dit verdwijnt wanneer de buitentemperatuur oploopt.

⁷¹ Bij pleisterwerk of stuc laag is dat vocht niet te zien (zoals op een ruit), maar dringt wel in de muur. Hierdoor loopt de isolatiewaarde van die muur terug en zal er dan meer vocht in die muur verzamelen.

⁷² Zie ook: TNO-rapport TNO 2019 R10969 Meta-onderzoek voor coalitie gezonde binnenlucht.
<https://www.co2indicator.nl/documentatie/TNO-2019-R10969.pdf>

Decentrale lucht-WTW. Bij het renoveren van oude woningen, waarbij de spouwmuren en de daken worden geïsoleerd met dampdichte folies (aan de warme kant), vloerisolatie en beter isolerende ramen zal de natuurlijke ventilatie sterk verminderen. Omdat het aanleggen van een centraal balansventilatiesysteem ook vaak een kostbare aangelegenheid is vanwege de (dikke) kanalen die moeten worden aangelegd, kiezen sommige mensen ervoor om één of meer decentrale lucht-WTWs te installeren.

Douchen. Tijdens douchen met warm water is er in de warme douchecabine een maximale luchtvochtigheid (100%). Wanneer deze zeer vochtige lucht buiten de douchecabine komt, beslaat (condenseert) deze meteen op de ramen en tegels wanneer deze kouder zijn dan de lucht in de badkamer. Dit gaat direct als de tegelmuur matig geïsoleerd is. Het is dus belangrijk dat de afzuiging direct boven de douchecabine zit en aanstaat tijdens het douchen, en ook **nog een half uur erna**. De afzuiger trekt dan droge lucht aan vanuit de slaapkamer of gang van de verwarmde woning. Onder de deur van de badkamer moet dan een opening zitten.

Bij badkamer renovatie is het belangrijk dat de buitenmuur de minimum isolatiewaarde krijgt van de nieuwbouwnorm van $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Dat betekent bij een na-geïsoleerde spouwmuur ($R_c = 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) een aanvullende binnenzijdige muurisolatie van $R_c = 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ oftewel minimaal een 8 cm PIR of Recticel plaat. Met betegeling wordt dat dan bijna 10 cm ruimteverlies.

Droge lucht. De buitenlucht heeft een Relatieve Luchtvochtigheid (RV) die afhangt van de weersgesteldheid; als het regent of net geregend heeft is de luchtvochtigheid hoog. In de winter wanneer het vriest, daalt de luchtvochtigheid sterk. Voor menselijke bewoning is de RV tussen de 40% en 65% ideaal. Wanneer de woning warm is en het buiten koud is, zal bij ventileren de buitenlucht opwarmen en de luchtvochtigheid in de woning sterk dalen. Men kan de RV verhogen door verdampingsbakjes aan de radiator te hangen⁷³; veel kamerplanten verhogen ook de RV. Ook kan een luchtbevochtiger toegepast worden (kost veel energie), eventueel gecombineerd met een luchtfilter. Er zijn ook balansventilatorsystemen die de luchtvochtigheid reguleren.

Figuur 46. Kleine luchtbevochtigers voor kamergebruik met waterreservoir. Rechts grote luchtbevochtiger van Renson met vernevelaar.



Emissies. Dit zijn afvalstoffen zoals gassen en fijnstof door activiteiten zoals koken op gas kaarsen branden en open haarden en andere verbrandingstoestellen waardoor verbrandingsgassen en chemische stoffen terechtkomen in de binnenlucht. Deze kunnen onder andere ook voortkomen uit bouwmaterialen (formaldehyde), wand- en vloerbedekking, elektronica, meubels en kleding, speelgoed, luchtverfrissers en tabaksproducten.

⁷³ Dat zijn dan wel een bron van schimmels.

Fijnstof⁷⁴. Overall in de lucht bevindt zich heel fijn en onder gewone omstandigheden onzichtbaar fijnstof. Het fijnstof is onder te verdelen in grofstof dat neerslaat ($PM > 10 = \text{particle matter} = > 10 \mu m$)⁷⁵, fijnstof is in de schaduw niet meer zichtbaar (PM_{10} tot $PM_{2,5}$ zoals huisstof, schimmels, sporen en pollen), verbrandingsstof ($PM < 2,5$ tot PM_1), ultra-fijnstof ($< PM_{0,1}$)⁷⁶ en zelfs nano-deeltjes van 1 tot 100 nanometer. (1 nanometer is 0,000.001 mm is één miljoenste mm), en microbiologische verontreinigingen zoals virussen en bacteriën⁷⁷.

Tabel met fijnstof deeltjes en afmeting.

1 micron (μm) = 1-miljoenste meter of 1-duizendste millimeter = 0,001 mm . 100 micron = 0,1 mm

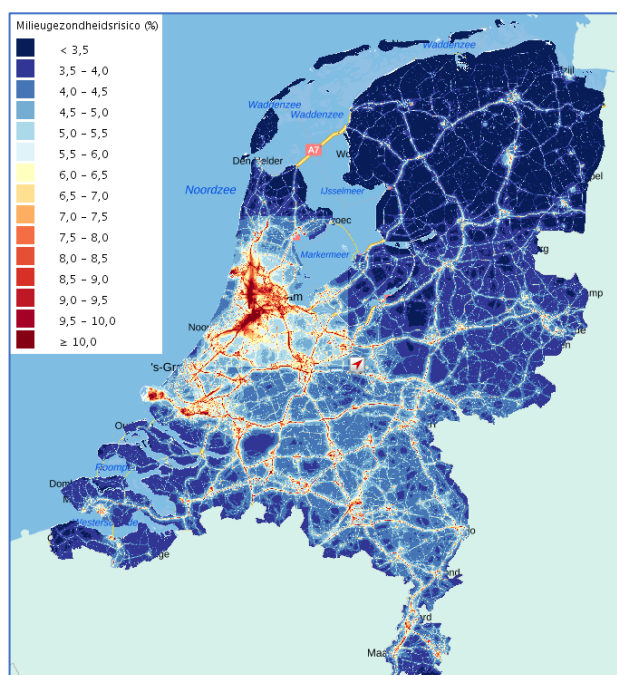
Benaming	Afmeting	Filters	Filtercapaciteit gefilterde stofdeeltjes in %			
			Afmeting.	G3 filter	F6 filter	F7 filter
Grof stof	$> 10 \mu m$	PM 10	$< 10 \mu m$	$\approx 75 \% \pm 10$	99 %	$> 99 \%$
Pollen	10 - 200 μm	PM 10	$< 5 \mu m$	$\approx 60 \% \pm 10$	96 % ± 2	$> 99 \%$
Schimmels	10 - 30 μm	PM 10	$< 3 \mu m$	$\approx 22 \% \pm 8$	90 % ± 5	$> 98 \%$
Fijnstof	1 - 10 μm	PM 2,5	$< 1 \mu m$		58 % ± 7	68 % ± 7
Ultra fijnstof	0,3 - 1 μm	PM 0,3	$< 0,5 \mu m$		30% ± 10	$\approx 47 \%$
Bacteriën	0,2 - 2 μm	PM 0,3	$< 0,2 \mu m$			$\approx 30 \%$
Smog	0,01 - 3 μm	PM 0,3	$< 0,1 \mu m$			$\approx 10 \%$
Houtrook	0,01 - 3 μm	PM 0,3				
Virussen	0,01 - 3 μm	PM 0,3				
Virussen		FFP2				

Wikipedia: De [EN 149-norm](#) definieert drie klassen van filterefficiëntie voor de mond/neus maskers, namelijk FFP1, FFP2 en FFP3. FFP = Filtering Face Piece

Figuur 47. Nabij de snelwegen bestaat een grote concentratie fijnstof.

Binnen de 100 m mag geen school meer worden gebouwd, maar deze grens moet volgens deskundige worden verruimd naar 300m. De kaart uit de atlas leefomgeving geeft de concentratie fijnstof weer.

<https://www.atlasleefomgeving.nl/meer-weten/ruimte>



Fijnstof is soms zichtbaar. Bundels sterk (zon)licht die door fijnstof of waterdamp (mist) schijnen kunnen dat fijnstof zichtbaar maken wanneer er een donker achtergrond is.

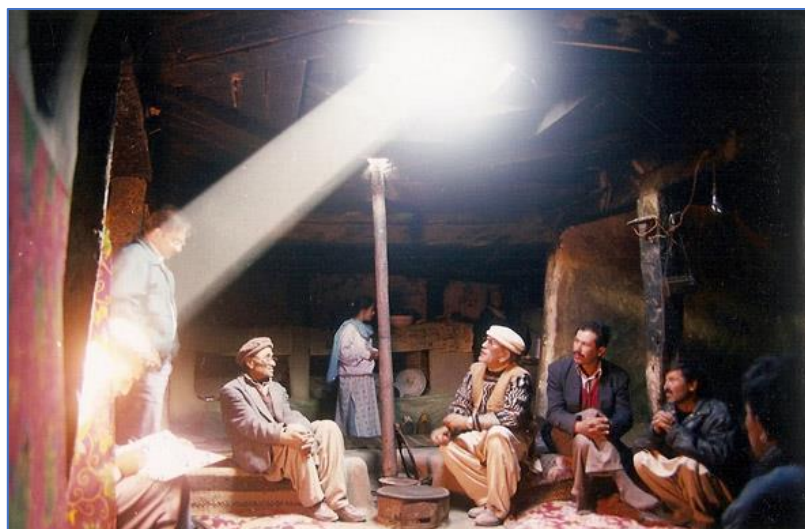
⁷⁴ Meer informatie: <https://www.rivm.nl/dossier-fijn-stof>.

⁷⁵ Een *muu* = μ is gelijk 1/1000.000 meter of 1/1000 mm. $10 \mu m = 1/100^{\text{ste}}$ mm.

⁷⁶ Zie NOS.nl <https://nos.nl/artikel/2207573-kinderen-bij-schiphol-onderzocht-op-gezondheidseffecten-ultra-fijnstof.html>

⁷⁷ Zie bijvoorbeeld: <https://www.rivm.nl/media/milieu-en-leefomgeving/hoeschoonisonzelucht/>

Figuur 48. In deze traditionele woning met een centrale, gesloten houtkachel en veel wollen vloer- en wandkleden laat de lichtbundel door het dakraam de zeer grote hoeveelheid fijnstof zien die in de ruimte rondzweeft.



Gezondheidsraad. Volgens de gezondheidsraad sterven er in Nederland jaarlijks nog altijd zo'n 11.000 mensen vroegtijdig door veel fijnstof in de lucht, van wie minstens 900 door houtstook ($\approx 10\%$). Die 90% is dan van sigarettenrook en uitlaatgassen. Uit een proef bleek dat houtrook verantwoordelijk was voor 9% tot 27% procent van de lokale PM₁₀-concentratie in de lucht, en voor 30% tot 39% aan PM_{2,5}.

De hoge concentraties fijnstof zijn grotendeels te wijten aan de hout-gestookte open haarden (en allesbranders) die een (te) lage verbrandingstemperatuur hebben.

Binnen in een woning, gedurende het stoken van een houtkachel zal de fijnstof of CO₂-concentratie laag zijn, omdat de kachel grote hoeveelheden lucht van buiten aantrekt voor de verbranding (10m³ - 15m³ lucht per kg vaste koolstof afhankelijk van het type kachel), waarmee automatisch de woning wordt geventileerd.

HEPA-filter. Dit betekent *High Efficiency Particulate Absorbing* en filtert die zeer fijne stofdeeltjes (85% van PM_{0,3}) uit de afvallucht (uit te blazen lucht) van een stofzuiger. De kwaliteit van de filter wordt aangegeven met een getal. Hoe hoger dat getal, hoe beter. Een HEPA13 filter is dus beter dan een HEPA12.

Figuren 49. HEPA-filters.

Deze kunnen ook in WTW-apparatuur geplaatst worden. Ook tegen Corona verspreiding.



Ionisatie van de lucht is een luchtreinigingstechniek waarbij elektrisch geladen zuurstofmoleculen (ionen) zich hechten aan fijnstof. 95% van het fijnstof (rook) slaat daardoor neer op de metalen elementen in het filter. Ook micro-organismen, virussen, schimmels en stofmijt (allergenen) worden hierdoor onschadelijk gemaakt (gunstig voor astmapatiënten). Er zijn een grote variëteit aan ionisatie apparatuur op de markt. **Deze verversen echter niet de lucht.** Ventileren blijft belangrijk om de zuurstofbalans te herstellen en de CO₂ en waterdamp te verwijderen.⁷⁸

⁷⁸ https://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Uitgaven/Milieu_Leefomgeving/Dossier_Fijn_stof/Maart_2013/Dossier_Fijn_stof.pdf

Kaarsen⁷⁹. Bij het verbranden van kaarsen (stearine en paraffine) komen veel rookgassen (CO en CO₂), waterdamp en roet⁸⁰ en stikstofdioxiden (NO₂) vrij, die in de woonruimte blijven hangen. Geurkaarsen produceren ook **nog andere VOC-gassen en extra fijnstof**. De paraffine, stearine verbrandt meestal niet volledig. Kaarsen van bijenwas of sojawas zijn het minst slecht voor de gezondheid. Een **gele vlam is het kenmerk van onvolledige verbranding**.



Figuren 50. Linksboven: Kaarsen branden voor de sfeer produceert veel fijnstof en verbrandingsgassen (condens).

Midden-boven: De gele vlam is kenmerkend voor onvolledige verbranding die roet produceert. Drie waxinelichtjes of een enkele grotere kaars verbruiken minstens zoveel zuurstof als één volwassene.

Rechtsboven: Roet van de twee kaarsenhouders is neergeslagen op de muur.

Linksonder: Ledlamp kaarsen zijn bijna echt, gebruiken geen zuurstof en veroorzaken geen vervuiling.

Rechtsonder: 3D elektrische openhaarden zijn net echt met steeds wisselende vlammen en knisperend geluid, maar produceren geen rook of fijnstof en verbruiken geen zuurstof.



Het uit de verbranding van kaarsen resulterende roet slaat neer op de kameroppervlaktes, zoals het plafond (daar waar het koel is bij een latei in de buitenmuur of erker) en vooral de koele/vochtige buiten muren. Voor het opnieuw schilderen moeten die oppervlaktes goed ontfet worden. Bij het (ver)branden van kaarsen en dergelijke moet dus goed geventileerd worden en kan een luchtzuiveraar ook de luchtkwaliteit verbeteren.

Kamerplanten zuiveren geen/nauwelijks lucht. Onderzoekers⁸¹ hebben op basis van jaren onderzoek geconcludeerd dat kamerplanten weliswaar schadelijke stoffen kunnen absorberen via poriën in hun bladeren en wortels, maar dat dit nauwelijks effect heeft op de luchtkwaliteit in huis. Om enig meetbaar of merkbaar resultaat te hebben zou je tenminste 5 grote kamerplanten per m² moeten hebben. De kamerplanten die het beste werken zijn bijvoorbeeld varens of klimplanten.

⁷⁹ Zie ook uitgebreid: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kaarsvlam> . Hetzelfde is van toepassing op olie of petroleumlampjes.

⁸⁰ Roet van sigaretten roken, kaarsen branden, vlees BBQ'en dieselauto uitlaatgassen bestaat uit Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's) die bij langdurige inademing nadelige gezondheidseffecten oplevert.

⁸¹ Zie : www.wibnet.nl/natuur/planten/onderzoekers-kamerplanten-zuiveren-de-lucht-in-huis-niet



Figuren 51. De claim dat kamerplanten met veel blad luchtzuiverend zijn is feitelijk wel zo, maar dat is niet meetbaar aan een paar planten. Om enig effect te hebben moet de hele vloer vol gezet worden met grote kamerplanten (geen loopruimte meer). Kamerplanten hebben voornamelijk een gunstig psychologisch effect.

Figuur 52. Een kas met duizend grote tropische kamerplanten die goed licht hebben en optimale voeding, produceert misschien genoeg zuurstof voor één enkele persoon in rust.



Kierdichting. Woningen van vóór 1940 hebben hoofdzakelijk natuurlijke ventilatie, d.w.z. kierende deuren en ramen, slechte dak-afluitingen, geen dakisolatie met kierend dakbeschot, ventilatie van onder de houten vloer (kruipruimte) en via de meterkast. De afzuiging van de kookgassen ging via een open schouw zonder ventilator, gebaseerd op het schoorsteen effect van de warme kooklucht.

Woningen van ná 1980 hebben steeds betere kierdichting en lucht afzuigingssystemen. De kierdichting (dubbele aanslag bij ramen en deuren, spouwmuur en dakisolatie) is noodzakelijk om een mechanische afzuiging goed te laten werken. Een **oude woning volledig kierdicht maken**, zonder dat er een goed ventilatiesysteem aanwezig is, is **geen goed idee** omdat er dan bij gesloten ramen een ventilatietekort ontstaat.

Bij het vervangen van enkel glas of oud dubbel glas naar HR⁺⁺ of triple glas (woonkamer)⁸², moet steeds overwogen worden of er ventilatieroosters boven op het glas moeten komen, óf dat er meteen een centrale of decentrale lucht-WTW wordt aangelegd.

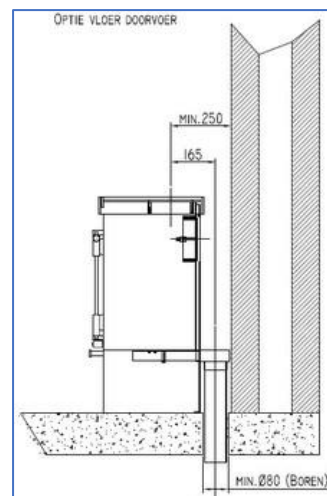
Slechts de ventilatieroosters boven op het isolatieglas met een gewone mechanische ventilatie (systeem B of C) verbetert wel de ventilatie, maar brengt in de winter veel koude lucht naar binnen. Bij een lucht-WTW blijft de warmte-energie tot >95% binnen.

⁸² Voor elke glasdikte moeten de ventilatieroosters die boven op het glas komen apart gemeten worden. Ook voor de dikste triple glas ruiten (52 mm) zijn ventilatie roosters voor op het glas beschikbaar.

Koken en fijnstof⁸³. Bij BBQ'en, braden, wokken en frituren komt veel fijnstof vrij (<PM_{2,5} tot PM₁). Roken in huis veroorzaakt echter nog meer fijnstof. In boter braden veroorzaakt meer fijnstof dan in olie braden of frituren. Een airfryer veroorzaakt weinig fijnstof. Braden in een roestvrijstalen pan levert 5 x zoveel fijnstof op dan in braden een pan met een anti-aanbaklaag.⁸⁴

Aanbranden en verbranden (BBQ) is **helemaal slecht**. Binnen in een matig tot slecht geventileerde woning blijft fijnstof tot wel zes uur hangen. Om dit snel weg te krijgen is een afzuigcapaciteit nodig van 300 m³/uur. In het Bouwbesluit staat dat de keuken afzuigcapaciteit minimaal 75 m³/uur moet hebben, hetgeen behoorlijk aan de lage kant is. BBQ buiten is ook slecht, maar dan gaat het fijnstof en de rook naar de burens. Verbrand vlees is bovendien kankerstimulerend.

Koolmonoxidevergiftiging. Koolmonoxide (CO) blokkeert de rode bloedlichaampjes van zuurstofopname waardoor je bewusteloos kan raken. Per jaar overlijden er tussen de 10 en 15 personen door koolmonoxidevergiftiging. Slechte rookafvoerkanalen, vrijstaande petroleum- of gaskachels en allesbranders in slecht geventileerde ruimtes zijn vaak de oorzaak van koolmonoxidevergiftiging. De verbrandingsgassen komen bij kachels zonder eigen lucht aan- en afvoer door onderdruk de kamer in. Om dit te voorkomen moeten kachels een eigen luchttoevoer van buiten hebben.



Figuur 53. Tekening van aparte toevoer van buitenlucht uit:

<https://www.haardenexpress.nl/externe-luchttoevoer-houtkachels.html>

Koolstoffilters voor recirculatie-wasemkap. Het betreft hier actieve koolstoffilters die zowel fijnstof als geurtjes van het koken en frituren absorberen. Dit absorberen is voor ongeveer 50%, waarbij het filter niet de waterdamp absorbeert die bij het koken ontstaat en ook niet de verbrandingsgassen van een gasfornuis. **Bij een gasfornuis is een recirculatie-wasemkap dus ongewenst.**

Koolstoffilters moeten periodiek vervangen⁸⁵ worden, terwijl plasmafilters gedurende het na-draaien (>15 minuten) zichzelf reinigen en een levenslang meegaan. De grootte van de koolstoffilter moet passen bij de capaciteit van de wasemkap-ventilator. De capaciteit van het plasmafilter moet overeenkomen met de afzuigcapaciteit van de wasemkap. Kookplaatafzuiging naar beneden vraagt meer afzuigvolume (500 - 700 m³/uur) dan boven-afzuiging, en luchtscherm systemen het minste (200 - 300 m³/uur). Omdat de koolstoffilter niet de waterdamp verwijderd moet wel geventileerd worden anders loopt de vochtigheid in de keuken sterk op.

Koudebrug. Dit is ingeburgerd verkeerd taalgebruik voor **warmtelek** (brug) of **thermisch lek**. Dit is een plek in de thermische schil van een gebouw, die minder goed geïsoleerd is dan diens omgeving en daardoor in de winter binnen kouder is dan die directe omgeving, een soort gat dus waardoor warmte naar buiten lekt. In de winter komt de koude niet binnen, maar gaat de warmte eruit.

⁸³ Artikel uit Eigen Huis (apr 2018) van Piet Jacobs, TNO-onderzoeker.

⁸⁴ Een versleten anti-aanbaklaag produceert weer **PAKs en PFAS die erg schadelijk zijn voor de gezondheid**.

⁸⁵ Aanbevolen is: voor 4-6 personen koken elk ½ jaar, voor 2-3 personen koken elk jaar, minder elke 2 jaar. Bij veel frituren of bakken zal het korter zijn want een koolstoffilter verzadigd door vetdruppels.

In een warme zomer en een gekoelde ruimte komt via een thermisch lek de warmte juist naar binnen.⁸⁶ In de winter resulteert een warmtelek in een koud oppervlak (in verwarmde ruimte) waarop condensatie kan optreden⁸⁷. Bij poreuze oppervlaktes trekt de condensatie in het materiaal. Op dit vochtige oppervlak kan dan makkelijk schimmel optreden. Om plaatselijk schimmel te voorkomen is het belangrijk dat er geen warmtelekken in de woning zijn en goede ventilatie.

Figuur 54. <https://www.lekrecherche.nl/infrarood-thermografie/>

Warmtelekken in een bouwconstructie kunnen in de winter goed ontdekt worden door infra-rood fotografie. Op deze foto ontbreekt de isolatie in de vliering. Vaak zijn warmtelekken het gevolg van een bepaalde bouwmethode in een bepaalde bouwperiode, toen er nog weinig aandacht was voor warmtelekken.



Kruipruimte. Dit is de ruimte onder de begane grond vloer. Bij begane grond vloeren van houten balken moeten de kruipruimte licht geventileerd blijven om Radongas en vochtige lucht af te voeren en daarmee schimmel te voorkomen. Het dichtzetten van buitenlucht ventilatieroosters die de ruimte onder de houten vloer ventileren is **verkeerd**. Bij goede kwaliteit bouw zijn de vloerbalken behandeld met creosoot en de opleggingen met menie om schimmelvorming tegen te gaan. Afdekken van de kruipruimtebodemplaat met een grond-dekzeil zal opstijgend vocht uit de bodem en Radonemissies uit de bodem verminderen. Verschillende vloer-isolatiebedrijven passen standaard een gronddekzeil toe (e.g. Tonzon). Grondzeil (oranje) is in de bouwmarkt verkrijgbaar.

Lawaai balansventilatie. De meeste systemen zijn in de lage stand ($< 35 \text{ m}^3/\text{uur}$) nauwelijks te horen. De lage ventilatiestand wordt gebruikt bij afwezigheid of voor het slapen. In de slaapkamer moet het geluid onder de 30 dB(A) blijven. Grote en gladde kanalen met grote roosters leveren minder weerstand op en vragen daardoor minder energie en produceren minder geluid. Slecht afgestelde of vervuilde ventielen produceren lawaai. Trillingsdempers (zachte rubberen overgangen) tussen de ventilatoren en de buizen zijn nodig.

Luchten/spuien. Het tijdelijk openzetten van een raam of deur om lucht te verversen. Hierdoor wordt ook het zuurstofpercentage hersteld en CO_2 en waterdamp afgevoerd. Met het afvoeren van warme lucht verdwijnt ook warmte-energie. Echter, de warmtecapaciteit van lucht is laag. De verse koude lucht van buiten wordt dan snel opgewarmd door de nog warm zijnde oppervlaktes in de kamer. Door kort en ruim te luchten wordt het zuurstofgehalte in de kamerlucht snel hersteld.

Luchtfilters. Deze kunnen verschillende niveaus van fijnstof uit de lucht halen en zijn in goede balansventilatiesystemen ingebouwd. Bij een keuze van een lucht-WTW is de beoordeling van het fijnstoffilter en de methode om deze te vervangen of schoon te maken belangrijk.

⁸⁶ Bekende thermische lekken zijn naar binnen doorlopende betonvloeren en uitstekende betonnen balkons of galerijen (bij flatgebouwen). Kleine warmtelekken kunnen metalen ankers zijn.

⁸⁷ In het taalgebruik werd dat daarom dat de koude naar binnenkomt, via de verbinding (brug).

Langs autowegen zal een fijner fijnstoffilter belangrijk zijn en/of vaker vervangen moeten worden. Veel bomen en struiken met een dicht bladerdak functioneren ook als fijnstoffilter. De HEPA-filter (*high-efficiency particulate absorbing*) filtert < 85% van PM_{0,3} maar geen ultra-fijnstof (<PM_{0,1}).

De beste filters (nanofilters) hebben een systeem waarbij de fijnstofdeeltjes en rookdeeltjes elektronisch worden opgeladen (hoge spanning) en daardoor afgevangen kunnen worden; er behoort geen ozon vrij te komen bij deze systemen. Een additioneel 'passief elektrostatisch filtersysteem' kan in de centrale lucht-WTW zijn ingebouwd, maar is ook los te verkrijgen. De kenmerken van de droge elektrostatische filter of Droge Elektrostatische Precipitator (DEP) staan op de overheid website⁸⁸. Langs autowegen is een DEP-toevoeging op de balansventilator relevant. Koolstoffilters absorberen VOC's en PAK's en moeten periodiek vervangen worden.

Motorloze wasemkap. De motorloze wasemkap in de keuken staat aangesloten op de centrale balansventilator die regelbaar is qua vermogen⁸⁹. Op de wasemkap bevindt zich een schakelaar die het vermogen van de centrale unit verhoogd en daardoor ook de afzuiging in de keuken. De ruimere kanaaldiameters van de wasemkap zorgen ervoor dat extra lucht via de keuken wasemkap wordt onttrokken. In de wasemkap zelf kunnen filters zitten die de vettigheid (fijnstofdruppeltjes) afvangen; deze kunnen meestal gereinigd worden door ze in de vaatwasser te zetten. Bij meer luchtafvoer tot 500 m³ hoort een kanaal diameter van 15 cm. Kleine kanaaldiameters met een hoog debiet zullen meer geluid produceren⁹⁰.

Vetdeeltjes slaan neer in het filter van de wasemkap en in de eerste twee meters van de afvoer. Die vetfilter en de eerste twee meter van de afvoer moeten dan ook periodiek schoongemaakt worden.

Openhaard⁹¹. Dit wordt vaak gebruikt als een verzamelwoord voor vele soorten kachels. Een echte openhaard heeft meestal een schouw die de rook en kamerlucht door middel van natuurlijke trek uit de kamer verwijderd. Rook en fijnstof komt echter ruimschoots de kamer in. Het energierendement van een open haard is erg laag omdat de open schoorsteen veel warme lucht uit de kamer met de rook afzuigt.

Naast een heel laag energierendement (15%- 20%) is de fijnstof vervuiling van een open haard zeer groot. Gesloten haarden hebben een iets beter energie rendement maar toch niet meer dan 40%. Alleen pelletkachels kunnen een energierendement hebben dat hoger dan 70% ligt. Advertenties kunnen een hoger rendement aangeven, maar dat is dan van een gecontroleerde laboratorium opstellingen.

⁸⁸ Zie <https://www.infamil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/luchtemissie/overzicht-factsheets/factsheets/droge-elektrostatisch-filter/>

⁸⁹ Zie bijvoorbeeld: de Zehnder WHR 930 (max 930 m³/uur voor hele woning) met motorloze wasemkap WK600 (600 m³/uur) met beschrijving: www.ventilatieland.nl/files/Brochure%20Zehnder%20WHR%20950_16307510090844.pdf, maar ook andere technische beschrijvingen van WTW-units die te vinden zijn op Ventilatieland.nl.

⁹⁰ Zie: <https://sustainableenergysolutions.nl/2018/01/15/ventileren-maar-dan-wel-goed-en-weg-met-de-open-keuken/>

⁹¹ Vanwege de hier genoemde redenen is het branden van open haarden energie-technisch nauwelijks of geen bijdrage aan de verwarming van een woning, bovendien is de grote fijnstofuitstoot schadelijk voor het milieu. Gesloten haarden zijn wat gunstiger. Automatische pellet-kachels hebben de beste verbranding (grootste stookhitte) en leveren daardoor de meeste energie en zijn daardoor milieutechnisch het minst belastend.

Figuren 55.

Links een traditionele open haard met haardplaat.

Rechts een nieuwe “openhaard” met glasplaat afgesloten. Deze geeft minder fijnstof binnen in de woning.



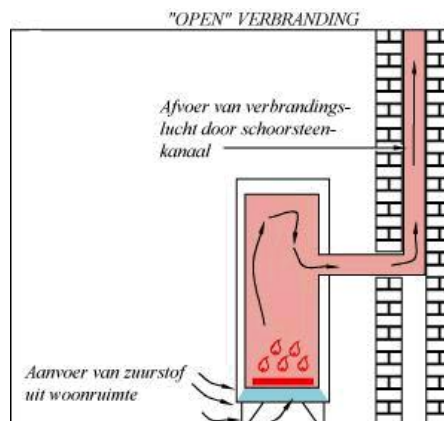
Openhaard. “Dicht model” en allesbranders. Een kolen- of briketten-gestookte gesloten en efficiënte gesloten kachel (met kijkruitjes) heeft per kg antraciet of droog hout (Carbon) minimaal 10 m³ lucht nodig (21% zuurstof) om tot een goede verbranding te komen. Uit de schoorsteen komen dan tot ongeveer 15 m³ hete gassen en fijnstof. Bij het verbranden van pellets of droog hout in een gesloten kachel of andere biomassaketel zijn de verhoudingen vergelijkbaar, maar komen ook nog andere gassen, fijnstof en waterdamp vrij. Verbranding van biomassa, kolen, hout in open haarden en houtkachels is met 40% de belangrijkste bron van fijnstof in de atmosfeer.

Figuur 56. Afbeelding open verbranding in een gesloten haard:

<https://www.stokertje.nl/kachelpedia/qashaard-open-systeem>

De kachel wordt meestal gestookt met door de CV voorverwarmde lucht uit de woning. Het netto energierendement is daarom vooral erg laag.

Een kachelfabrikant kan stellen dat de kachel in een laboratorium opstelling een energierendement heeft van >60%, maar omdat deze in de woning voorverwarmde kamerlucht gebruikt voor de verbranding is het nettorendement dan < 40%, dat telt die fabrikant dan niet mee.



Bij het stoken van een kachel ontstaat een onderdruk in de kamer en moet er dus veel verse (buiten)lucht worden aangevoerd. Bij een woning zonder ventilatiesysteem of vloerisolatie komt een gedeelte van die lucht door de kieren en uit de kruipruimte (met Radon).⁹² Bij een kachel zal bij onderdruk in de woonkamer de schoorsteen niet goed functioneren (**gele en oranje vlammen**); bij een openhaard komen er dan grote hoeveelheden rookgassen en fijnstof in de woonruimte. In de praktijk van de openhaard verwarmt deze daardoor slechts matig; slechts de personen vlak bij de haard, die de stralingswarmte ontvangen, krijgen een warmte gevoel, terwijl de rest van het gebouw wel kouder wordt door de aangetrokken koude ventilatielucht.

Bij een gesloten kachel en droge kleine stukjes hout (minder dan 10% vochtgehalte)⁹³ is het kachel verwarmingsrendement beter (theoretisch tot 70% en 80% voor de beste modellen). Daarbij wordt echter niet meegerekend dat de kachel in de woning voorverwarmde lucht verstoekt, tenzij er een aparte luchtinlaat is. Alleen de gesloten systeem hoog rendement pelletkachel met droge pellets kan een rendement behalen van ≈90%.

⁹² Er zijn openhaarden die lucht verwarming hebben (rondom de kachel) waarbij deze lucht kan uit de kamer komen (recirculatie) of verse lucht vanuit buiten opgewarmd. Echter, deze lucht mag niet uit de kruipruimte (Radon) worden onttrokken. Bij sommige haarden komt de lucht voor de verbranding wel uit de kruipruimte.

⁹³ Lucht-gedroogd hout bereikt na ongeveer twee jaar een vochtigheidsgraad van minimaal 15%.

Bij een woning met een decentrale lucht-WTW of een centraal balans-ventilatiesysteem zal de open kachel of openhaard de werking van het systeem verstoren; dit is dus niet goed.

De meeste open haarden en kachels hebben geen eigen luchtinlaat die buitenlucht aantrekt. In deze ouderwetse systemen moet de grote hoeveelheid lucht die nodig is voor de verbranding dus uit de woonkamer komen en secundair uit de gang en andere woonruimtes. Eén resultaat is dat er in de kamer onderdruk ontstaat en dat er onvolledige verbranding plaatsvindt. Een tweede aspect is dat met onvolledige verbranding het geurloze koolmonoxide (CO) kan ontstaan, hetgeen zeer giftig is⁹⁴.

Pelletkachels. Een gesloten systeem pelletkachel heeft een veel hoger rendement (pellet CV = 95%) dan een goede kwaliteit gesloten haard (70%-75%) voor vaste biomassa brandstoffen, omdat de pellets klein en droog zijn en de rookgastemperatuur lager. Dit wordt onder andere bereikt door de toepassing van een ventilator en directe luchtaanvoer van buiten. Echter, een biomassakachel produceert wel meer rookgassen dan een gas-HR-CV, maar is over het geheel minder milieubelastend bij verbruik van FSC-houtpellets (Forest Stewardship Council).

Volgens het Bouwbesluit mogen de rookgassen van een pelletkachel (ook niet van een gewone kachel of BBQ) geen overlast bij de burens opleveren. De afvoer van rookgassen is dan ook boven de nok van het gebouw; een gevelafvoer is niet meer toegestaan⁹⁵. Het verbruik van een pelletkachel kan variëren van ¼ kg (sfeer haarden) tot ongeveer 2 kg pellets/uur voor Cv-systeem.

*Figuren 57.
Links: Nordic
Fire CV-
pelletkachels.
Midden: 10-
12kW air-plus
pellet kachel.
Beiden gestookt
met eco-pellets
van Pure-Power.*



Rechts: Plaatsing van een lange dubbelwandige RVS-schoorsteen buiten aan een woning ten behoeve van een pelletkachel en ter voorkoming van condensatie.

Bij lange afvoerkanalen kan condensatie optreden. Geïsoleerde dubbelwandige RVS-kanalen kunnen condensatie voorkomen (doorsnede 80 mm). De pelletkachel wordt niet aanbevolen voor toepassing binnen de bebouwde kom, maar wel voor afgelegen bebouwing in rurale gebieden, bijvoorbeeld daar waar geen aardgas netwerk ligt.

Per januari 2020 wordt er geen subsidie meer gegeven op pelletkachels of biomassaketels.

⁹⁴ Koolmonoxide melder installeren: <https://www.consumentenbond.nl/cv-ketel/koolmonoxide#no4>

⁹⁵ De herziene norm voor gebouw-gebonden rookgasafvoersystemen NEN2757-1 voor gebouwen met een belasting tot 130 kW (alle woningen) stelt dat de uitlaat van hout-gestookte installaties boven de nok van het gebouw moeten uitmonden.

Planten en bomen produceren zuurstof. Planten produceren zuurstof (O) van kooldioxide (CO₂) zonlicht en water door middel van fotosynthese (enzymen en eiwitten). Tropische (klim)planten produceren het meeste, maar 's nachts produceren ze geen zuurstof. Een onderzoek van het US Forest Service suggereert dat een gezonde stadsloofboom met een stamdiameter van 50 cm, in de zomer per dag 125 gr zuurstof produceert. Dat is ongeveer 1/7^{de} tot 1/10^{de} van de dagelijkse zuurstof consumptie van een mens (1 kg O₂/dag). In een gematigd klimaat met een winter, waarbij de bomen hun blad verliezen en de helft van het jaar niet groeien, zijn er dus in Nederland ongeveer 30 stadsbomen nodig per volwassen persoon om zuurstof te produceren.⁹⁶

Figuur 58. Amsterdamse boom in de zomer, vol in blad met een buitenste bladzone volume van >100 m³. Binnenin is weinig blad en dat telt dus niet mee. De hoeveelheid zuurstof die wordt geproduceerd is gerelateerd aan de hoeveelheid hout (Carbon, C) die wordt geproduceerd. Tropische kamerplanten produceren tot wel 25% meer zuurstof per bladoppervlakte dan boombladeren.



Op basis van deze gegevens zou je kunnen uitrekenen hoeveel kamerplanten je nodig zou moeten hebben om een persoon van zuurstof te voorzien. Deze berekeningen zijn nogal vaag, maar je hebt wellicht duizend grote tropische kamerplanten nodig om voldoende zuurstof voor een enkele persoon te produceren. De verdienste van kamerplanten ligt dus hoofdzakelijk op psychologisch niveau, omdat ze een prettige woon- en werkomgeving creëren.

Plasmafilters voor de recirculatie-wasemkap⁹⁷. In plaats van (actieve) koolstoffilters kunnen ook plasmafilters worden toegepast. Koolstoffilters moeten periodiek vervangen⁹⁸ worden, terwijl plasmafilters gedurende het na-draaien (>15 minuten) zichzelf reinigen en een levenslang meegaan. De luchtreiniging is dan 95% tot 98%, hetgeen beter is dan de actieve koolfilters. De capaciteit van het plasmafilter moet overeenkomen met de afzuigcapaciteit van de wasemkap.

Kookplaatafzuiging naar beneden vraagt meer afzuigvolume (500 - 700 m³/uur) dan boven-afzuiging en luchtscherm systemen het minste (200 - 300 m³/uur). Omdat de plasmafilter niet de waterdamp verwijderd moet wel geventileerd worden anders loopt de vochtigheid in de keuken sterk op. Het energieverbruik van het filter (zonder de ventilator) is laag met ongeveer 10 Watt/uur (X 350 = 3,5 kWh/jaar), maar doordat de warme binnenlucht niet naar buiten wordt afgevoerd (300 - 500 m³/uur) bespaart het op de ruimte verwarmingsenergie. Een plasmafilter werkt door de opwekking van Ozon.

⁹⁶ <https://www.smartcirculair.com/hoeveel-bomen-zijn-er-nodig-voor-de-zuurstof-van-1-mensenleven/>

⁹⁷ <https://kookplaatmetafzuiging.nl/een-plasmafilter-hoe-werkt-dat/> ; <https://www.inventum.eu/inbouw-witgoed/plasmafilters/> ; <https://nl.boretti.com/collectie/koken-en-bakken/plasmafilters/plasmafilter-500m3-puro500.html> : <https://avitana.be/> ; <https://www.plasmamade.nl/>

⁹⁸ Aanbevolen is: voor 4-6 personen koken elk ½ jaar, voor 2-3 personen koken elk jaar, minder elke 2 jaar. Bij veel frituren of bakken kan het korter zijn. Een koolstoffilter verzadigd door vet.

Radongas en Thoron. Van nature komt radon in de bodem voor, maar ook in bouwmaterialen zoals baksteen en beton. Het is samen met Thoron (isotoopvariant van radon) een radioactief gas dat vervalt, waarbij er deeltjes ontstaan die ook radioactief zijn en zich aan (fijn)stof hechten. Bij veel inademing kunnen sommige mensen van dit (fijn)stof longkanker krijgen; het tabak-roken versterkt dit effect omdat dit meer stofdeeltjes produceert. Het gesloten houden van het kruipruik in de woning naar de kruipruimte is daarom aanbevolen. Het ventileren van de kruipruimte en een grond afdekzeil zijn aanbevolen, waarmee de concentratie van radon laag blijft. Bij de toepassing van vloerisolatie in de kruipruimte wordt er een dekzeil (dik plastic) op de grond gelegd, waardoor vochtigheid en radongas minder uit de grond treedt.

Figuur 59. Tonzon met dekzeil en isolatiefolies. Het dekzeil op de grond verlaagt het omhoogkomen van vochtige damp uit de grond en Radon, en maakt het installeren van de isolatiefolie makkelijker. De gemetalliseerde isolatiefolie zelf voorkomt eveneens dampdoorlating naar boven.



Recirculatie-wasemkap bij elektrisch koken. De keukenafzuiging moet bij voorkeur niet direct naar buiten afvoeren, maar via het balansventilatiesysteem. Er bestaan twee soorten: een met een actief koolstoffilter en een met een plasmafilter. Een goede plasmafilter verwijdert meer luchtjes dan de actieve koolstoffilter, maar beiden moeten na het koken enige tijd (15 - 30 min.) na-draaien. Geen van beide systemen verwijderen de waterdamp van het koken uit de lucht.⁹⁹ In combinatie met een balansventilatiesysteem gebeurt dat wel.

Schimmel. Schimmelsporen (fijnstof) bevinden zich overal in de lucht en kunnen in vochtige plaatsen tot ontwikkeling komen en daarmee zichtbaar worden. Die vochtige plaatsen ontstaan doordat daar regelmatig condens optreedt, vanwege hoge luchtvochtigheid en koude muur/plafond. Bijvoorbeeld in de badkamer, waskamer en keuken. Bij een vochtige/natte bodem kan condens in de kruipruimte onder de niet-geïsoleerde vloer optreden. Schimmels zijn zwammen en ontwikkelen uitgebreide wortelsystemen die in het materiaal (pleisterwerk, hout) doordringen. Bij hout zal dit leiden tot houtrot. Schimmels en zwammen verspreiden zelf ook weer sporen die in zich de lucht verspreiden en een negatieve invloed kunnen hebben op het ademhalingssysteem van mensen (b.v. bij astma). Schimmels zijn een uiting van onvoldoende ventilatie en slechte isolatie; om schimmels te bestrijden en verder te voorkomen dient dus vooral de ruimteventilatie en de thermische isolatie van die ruimte verbeterd te worden. Schimmel kan tijdelijk verwijderd worden met een sodaoplossing in water (vochtige doek).

Figuur 60. In hoeken van de kamer is vaak onvoldoende luchtcirculatie en de eerste plaats waar schimmel voorkomt. Schimmel ter plaatse van een warmtelek aan het plafond van slaapkamer of badkamer. De betonnen vloer draagt in de buitenmuur en veroorzaakt daardoor een thermische brug.



⁹⁹ Waterdamp van het koken kan beperkt blijven door de deksel op de pan te houden, niet hard te laten koken (met hard koken wordt het water niet heter, maar verdampt meer), gebruik van een snelkookpan, gebruik van slow cooking of een hooikist of *heat retention box* (hitte bewaardoos).

Schoorsteenkanaal. Een bestaand schoorsteenkanaal kan gebruikt worden om het aanvoerkanaal voor een lucht-WTW of balansventilator aan te leggen; een gladde binnen-koker is dan gewenst. De afvoer is dan via het toilet, badkamer of keuken en kieren onder de deuren.

Studieresultaten. Hersens hebben relatief veel zuurstof nodig als ze hoogactief zijn zoals bij studeren of kantoorwerk. Bij onvoldoende ventilatie (zuurstof) zullen de hersens een koud-gevoel signaal afgeven. Bij voldoende ventileren zal dan het zuurstofgehalte in de lucht verbeteren en het koude-gevoel verdwijnen. Een goede studietemperatuur ligt rond de 17°C. Een sta-bureau vereist dat de beenspieren gebruikt worden en verbetert daar de bloedsomloop waardoor men het minder gauw koud krijgt. Bij veel kantoor werk is afwisselend staan en zitten en trappenlopen een methode om de bloedcirculatie goed te houden.

Spuien is het flink, ruim, maar kortstondig ventileren van de kamer(s). Bakstenen binnenmuren hebben een grote warmtecapaciteit waardoor na het sluiten van de ramen de kamer weer snel op temperatuur zal zijn. Voor spuien is het nodig een korte tijd (10-20 minuten) de ramen ruim openzetten, aan twee kanten van de woning.¹⁰⁰

Figuren 61. Frisse buitenlucht heeft een hoger zuurstofgehalte en een lager vochtgehalte (na opwarming) dan slaap- of woonkamers die bij gebruik een lange periode dicht zijn geweest.



Spuitbussen met “luchtverfrissers”. In toiletten of keukens worden vaak spuitbussen gebruikt met ‘frisse luchtjes’. Ook hebben veel schoonmaakmiddelen ‘frisse luchtjes’, zoals wasmiddelen, wasverzachters, poetsmiddelen en dergelijke¹⁰¹. Deze frisse geuren **maskeren of overheersen** de ongewenste luchtjes, maar verwijderen ze niet. In feite breng je met parfums en oplosmiddelen ook meer fijnstof en aerosol in huis, en die worden ingeademd. Ventileren met buitenlucht is veel beter.

Bijna alle luchtverfrissers bevatten voor 1/3^{de} uit Vluchtige Organische Stoffen (VOS, snel verdampende koolstofatomen zoals oplosmiddelen) die synthetisch uit aardolie worden gemaakt. Alle luchtverfrissers zijn schadelijk voor onze gezondheid en het milieu.

¹⁰⁰ Dit documentje gaat niet in op ventilatie opties voor erg warm weer of tropische landen. Zie hiervoor op www.nienhuys.info vierde pagina: SUN PROTECTION SOLAR. Design and dimensioning of sun shading structures for school buildings in the Arab countries. English-French-Arab language illustrated. From 4 to 36 degrees North. 154 pages, 7,13 MB. ASCATEP 1972 By Pierre Bussat et al

¹⁰¹ Zie ook: <https://www.milieucentraal.nl/in-en-om-het-huis/schoonmaken/luchtverfrissers/>



Figuren 62. De meeste luchtverversers of luchtverfrissers verversen of **verfrissen niet de lucht**, maar maskeren de ene luchtvervuiling met een sterkere andere luchtvervuiling (Aerosoles, VOS). Schoonmaakmiddelen en boenwas hebben toegevoegde aerosoles zodat je het goed ruikt wanneer je ze gebruikt.

Subsidie. Voor particulieren is er een subsidieregeling (ISDE)¹⁰². Elk jaar wordt die aangepast. Voor bepaalde woningverbeteringen zoals CO₂ gestuurde ventilatie of een balansventilatiesysteem met WTW is subsidie te verkrijgen, ook voor Verenigingen van Eigenaren (VvE)¹⁰³.

Stofzuigen. Stofzuigen helpt tegen het verwijderen van grofstof (PM₁₀), maar het fijnstof gaat door alle ouderwetse textiel stofzuigerzakken heen. De filterpapier stofzuigerzakken filteren beter (PM_{2,5}), maar raken langzaam verstopt wanneer ze vol raken. Het is daarom belangrijk om tijdens en na het stofzuigen erg ruim te luchten en na te ventileren om het fijnstof de woning uit te krijgen. Moderne stofzuigers hebben HEPA-filters (<PM₁) die gewassen kunnen worden of periodiek vervangen moeten worden (minimaal eens per jaar). Voor het legen van de stofvangreservoirs van cycloonstofzuigers (zakloos) zou dat in ieder geval buiten moeten gebeuren, want binnen geeft het erg veel stof.

Figuur 63.
Bron:
Hart voor uw
Huis.



In slaapkamers waar continue iemand aanwezig is, bijvoorbeeld wanneer de slaapkamer ook 's middags of 's avonds als studeerkamer wordt gebruikt, moet voor het slapen gaan de kamer ruim 10 minuten goed gelucht worden, terwijl er 's nachts een raam op een kleine kierstand moet staan of het ventilatierooster open¹⁰⁴.

¹⁰² Zie: <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/isde/particulieren/voorwaarden>

¹⁰³ Zie: <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/see/vve>

¹⁰⁴ Een rapport van TNO geeft aan dat per persoon optimaal 50 m³ lucht/uur geventileerd moet worden. TNO–2019-R10969, Meta Onderzoek binnenlucht <https://publications.tno.nl/publication/34636211/NLZGay/TNO-2019-R10969.pdf>

Tocht (of trek) is wel een vorm van ventilatie, maar goede ventilatie is geen tocht. Bij tocht is de koude of frisse luchtstroom vaak oncomfortabel en in plaatsen waar men dat niet wil. Tocht is een vorm van ongecontroleerd ventilatie en zal meer worden bij sterke wind.

Om tocht door ventilatie te voorkomen worden de ventilatiesleuven meestal boven de 180 boven de vloer geplaatst. Dat is boven op het isolatieglas, boven op het kozijn of boven in de muur.

Ventileren met draai-kiepraam. Het openzetten van een (draai-kiep) raam in een slaapkamer in de winter geeft vaak een veel te grote opening dan nodig is voor de CO₂ en zuurstof uitwisseling. Een ventilatierooster boven op het glas of op het kozijn is beter regelbaar. Er zijn raamuitzet begrenzers verkrijgbaar (*foto Secumax raamuitzetter*) die op het (draai-kiep) kozijn bevestigd kunnen worden, maar deze zijn niet inbraak beperkend.

Ventileren: zie ook <https://klimapedia.nl/publicaties/ventileren-voor-dummies/>

Figuren 64. Het draai-kiepraam ventileert goed maar staat in veel situaties te veel open. Door een beugel of vang aan de bovenkant te plaatsen kan de kier kleiner gemaakt worden.



Ventileren: Aanvullende informatie over goed ventileren en een optimaal binnenklimaat voor onder andere scholen is op de volgende websites te vinden. Deze informatie werd geactualiseerd i.v.m. Covid-19. Ongeveer 30% van de scholen heeft slechte ventilatieopties.¹⁰⁵

Verwarming van de ruimtes in een matig geïsoleerde woning (50% minder dan de 2020 nieuwbouw waarde) tot minimaal ≈15° C voorkomt condensatie op de muren en plafond/dak en daarmee ook schimmelvorming. Als in de winter een matig geïsoleerde woning verder afkoelt, condenseert het vocht in de woning op de muren en plafonds en is er grote kans op blijvende schimmelplekken. In de meeste slecht geïsoleerde woningen zal de temperatuur van de binnenkant van de buitenmuren ruim onder 15° C komen. Bij goed geïsoleerde woningen is dat niet het geval.

¹⁰⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/coronavirus-covid-19/ouders-scholieren-en-studenten-kinderopvang-en-onderwijs/basisonderwijs-en-speciaal-onderwijs/corona-en-ventilatie-schoolgebouwen> (Rijksoverheid Corona en ventilatie schoolgebouwen RIVM)

<https://lci.rivm.nl/ventilatie-en-covid-19> (LCI Richtlijn Ventilatie en COVID-19)

<https://www.rivm.nl/binnenmilieu/binnenmilieu-in-scholen-en-kindercentra> (RIVM Binnenmilieu in Basisscholen en Kindcentra)

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/frisse-scholen> (RVO Frisse Scholen)

<https://www.ruimte-ok.nl/kennis-en-voorbeelden/kennisbank/vergelijking-schoolventilatiesystemen-informatieblad> (Ruimte-OK Vergelijking schoolventilatiesystemen) <https://www.masterplanventilatie.nl/> (Divers Masterplan Ventilatie TVVL, ISSO, Binnenklimaat Nederland, VCCN)

VOC of VOS. *Volatile Organic Compounds (VOC)* is hetzelfde als Vluchtige Organische Stoffen (VOS). Verzamelnaam voor een groep van koolwaterstoffen (hoofdzakelijk gedistilleerd uit aardolie) die makkelijk verdampen zoals oplosmiddelen die voorkomen in schoonmaakmiddelen en spuitbussen. Veel nieuwe bouwmaterialen (verlijmd, gecoat, kunststoffen, verf, vloerbedekking) produceren na hun productie nog voor lange tijd VOS. Het ruim en continue ventileren van nieuwbouwwoningen gedurende het eerste woonjaar is daarom belangrijk. Ontlasting produceert ook VOS of VOC. Geurstoffen die onfrisse geurtjes verwijderen doen dat niet, maar produceren nog meer VOC's die de andere geuren maskeren. VOS zijn schadelijk voor het milieu en menselijke gezondheid.

VPK. Ventilatie Prestatie Keuring kan bij nieuwe of gerenoveerde woningen worden uitgevoerd. Het is een methode om zekerheid te krijgen of de ventilatie goed geïnstalleerd is. info@kwaliteitborg.nl

Warmtecapaciteit. Lucht heeft een warmtecapaciteit. Om 10 m^3 (ongeveer 13 kg) lucht 10°C te verwarmen is ongeveer 12 kJoule nodig. Dat is ongeveer dezelfde hoeveelheid warmte om 15 kg binnenmuur en pleister (≈ 8 bakstenen) 10°C te verwarmen.¹⁰⁶
Het maakt weinig verschil tussen droge of vochtige lucht. Kort spuien kost dus wel energie, maar minder dan constant ventileren zonder WTW.

Soortelijke warmtecapaciteit (C). Elk materiaal, gas of vloeistof heeft een verschillende hoeveelheid warmte-energie (Joule) nodig om 1 m^3 met 1 graad Celsius in temperatuur te verhogen. Die eenheid is kJoule/ m^3 .Kelvin. Lucht en waterdamp hebben een lage warmtecapaciteit, bouwmaterialen een gemiddelde en water of ijzer een hoge warmtecapaciteit.

Bijvoorbeeld: water = 4190 kJ/m^3 .K, ijzer = 4000 kJ/m^3 .K, ijs = 2200 kJ/m^3 .K, gewapend beton = 2200 kJ/m^3 .K, baksteen = 1500 kJ/m^3 .K, hout = 1000 kJ/m^3 .K, isolatieplaat = 150 kJ/m^3 .K, droge lucht = $1,3 \text{ kJ/m}^3$.K, en waterdamp = $1,2 \text{ kJ/m}^3$.K
Hieruit blijkt dat alle lucht in een slaapkamer ($3\text{m} \times 4\text{m} \times 2,5\text{m} = 30 \text{ m}^3$ met totaal 40 kJ/m^3 .K) ongeveer dezelfde warmtecapaciteit heeft als 22 bakstenen.

Woningvolume. Het luchtvolume van een woning is ongeveer het bruikbare vloeroppervlak in m^2 x (de kamerhoogte) $\text{m}^1 = \text{m}^3$. Een gemiddelde woning van 140 m^2 geeft dan 350 m^3 . Met een mechanische afzuiginstallatie zoals een balansventilatie systeem met een maximale capaciteit van $350 \text{ m}^3/\text{uur}$ zal in theorie dus een maal per uur de lucht in een woning worden verversd. De meeste afzuiginstallaties en WTW hebben echter drie standen, waarbij de laagste stand 10% tot 20% is van de hoogste stand. Bij $350 \text{ m}^3/\text{uur}$ is 10% slechts $35 \text{ m}^3/\text{uur}$. In dat geval duurt het dus ongeveer 10 uur voordat alle lucht in de woning is vernieuwd. In deze combinatie wordt op de laagste stand de lucht in deze woning dus ongeveer tweemaal per dag verversd. Zonder WTW is dat niet erg energie-efficiënt. Woning WTW's hebben een theoretisch rendement tot zelfs 99% (Brink flair 300).

WTW = Warmte Terug Winning. Dit kan gebeuren met ventilatielucht (lucht-lucht), met afvalwater van de douche (water-water), of bij warmtepompen en koelkasten (resp. lucht-water en vloeistof-lucht). Bij een lucht-WTW (*schema*) wordt de van buiten aangezogen verse/koude lucht (-12°C) verwarmd met de van binnen uitgeblazen warme lucht ($+22^\circ\text{C}$) door middel van een warmtewisselaar, ook bij kleinere temperatuurverschillen.

¹⁰⁶ 3.600 kJoule komt overeen met 1 kWh.

*Figuur 65.
Schematische
voorstelling van een
lucht-lucht
warmtewisselaar en
foto van vervangen
van een filter.*



Lucht-WTW-apparatuur kan centraal worden toegepast of decentraal en komt voor in verschillende rendementen (van >80% tot 99%). Lucht-WTW hebben een ventilatorsysteem waarbij de ventilator geluid produceert; ook de wrijving van lucht in de kanalen en door de roosters produceert geluid. Dit geluid kan geminimaliseerd worden door gladde en ruime kanalen en rubberen koppelingen tussen de ventilatiemotor en de buizen/kanalen. Een decentrale lucht-WTW-apparatuur kan verbonden worden met een verwarmingssysteem zodat de binnenstomende lucht in de winter extra wordt opgewarmd.

WTW zonder verwarming. Een decentrale lucht-WTW zonder verwarming zal ook in de winter ventileren en > 80% warmte terugwinnen. De kamerlucht wordt dan verwarmd door een andere bron zoals de CV of vloerverwarming. De binnenkomende ventilatielucht is dan iets koeler dan de luchttemperatuur van de kamer en kan bij verkeerde plaatsing dan als tocht worden ervaren.

Een lucht-WTW is over het algemeen een goede energiebesparing omdat het verwarmingssysteem de verse lucht aanzienlijk minder hoeft te verwarmen. Het energierendement kan oplopen van >80% tot 99% voor de beste apparatuur.

Zomer bypass. Het uitzetten van een balansventilator wordt niet aanbevolen, immers de woningen die een dergelijk systeem hebben zijn behoorlijk luchtdicht ontworpen; een andere manier van ventileren is dan noodzakelijk, b.v. door een open raam. Bij brand- of gas-calamiteiten in de buurt kan de gemeente soms adviseren de ramen tijdelijk te sluiten en het ventilatiesysteem uit te zetten totdat de calamiteit voorbij is.

Zuurstof. Het lichaam heeft zuurstof (O_2) nodig voor de verbranding in de cellen. Hierdoor wordt warmte geproduceerd. Wanneer in Nederland het zuurstofpercentage van de ingeademde kamerlucht daalt onder de 18% nemen de longen, en daardoor het bloed, te weinig zuurstof op. Dit resulteert in onvoldoende verbranding en krijgt men het koud en soms hoofdpijn. Dit gebeurt ook als de luchttemperatuur niet veranderd.

Bij ademen in een gesloten/kierdichte slaapkamer wordt zuurstof verbrand en komt er CO_2 vrij en waterdamp. Eenvoudige metertjes kunnen het CO_2 -gehalte in de lucht meten. De signaalfunctie van deze meters reageren dus op het CO_2 -gehalte en niet op het zuurstofgehalte.

Bij koolmonoxide (CO) vergiftiging neemt de reukloze CO de plaats van de zuurstof in en nemen de rode bloedlichaampjes helemaal geen zuurstof meer op. Dit kan optreden bij de combinatie van slechte (hout)kachels en onvoldoende ventilatie.
