



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Ventilatie, achtergrond van de eisen

EOS-LT DP 2015 WP1.1

Datum Februari 2011

TNO, W.F. De Gids

In opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)

Publicatienr RVO-168-1501/RP-DUZA
www.rvo.nl

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van
Economische Zaken.

Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00

F +31 88 866 30 10

wegwijzer@tno.nl

TNO-rapport

060-DTM-2011-00610

Ventilatie van ruimten ten behoeve van personen Achtergronden van de eisen

Datum	22 februari 2011
Auteur(s)	Ing. W.F. de Gids
Opdrachtgever	Agentschap NL Ir. P.A.J.M. Heijnen Postbus 17 6130 AA Sittard
Projectnummer	034.21477/01.01 EOS LT 03001
Aantal pagina's	39 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	-

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

Samenvatting

Dit rapport beoogt behalve een onderzoek naar de ventilatie-eisen en de achtergronden op basis van de beschikbare literatuur, inzicht te geven in de van belangzijnde menselijke bio-effluenten. Het beschrijft de ventilatie-eisen in historisch perspectief, analyseert de mogelijke achtergronden en tracht inzicht te geven in noodzakelijk onderzoek om de ventilatie-eisen beter te onderbouwen.

In hoofdlijnen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Vrijwel alle ventilatie-eisen zijn gebaseerd op onderzoek uit de 19^e eeuw.
- Vrijwel alle onderzoeken die aan de ventilatie-eisen ten grondslag liggen, zijn gebaseerd op het ervaren van geuren, geproduceerd door menselijke, aerosole afscheidingsproducten.
- De voor de ventilatie van ruimten bepalende afscheidingsproducten van mensen komen voornamelijk:
 - van bacteriën op de huid
 - door zweetverdamping
 - uit de mond via de ademhaling.
- Er blijkt een groot verschil in geurhinder voor personen die in een ruimte verblijven en personen die diezelfde ruimte bezoeken. Dit wijst sterk in de richting van adaptatie van geuren.
- Kooldioxide als indicator voor de luchtkwaliteit in ruimten is uitsluitend bruikbaar als:
 - alle andere vermijdbare bronnen, zoals emissies van bouw en inrichtingmaterialen effectief worden teruggedrongen;
 - andere bronnen van kooldioxide zoals verbrandingstoestellen geen rol van betekenis spelen;
 - andere grootheden zoals vocht en temperatuur niet bepalend zijn voor de ventilatie.
- De CO₂ verontreinigingsproductie door personen is evenredig met het metabolisme (stofwisseling, inspanningsniveau) van personen. Dit kan sterk variëren: van 0,8 MET in rust, 1,5 MET bij licht werk, 3 MET bij wandelen tot bijna 10 MET bij traplopen en sporten.
- Het metabolisme is evenredig met de massa (het gewicht) van personen. Voor kinderen is het metabolisme daardoor kleiner, maar die hebben vaak een hoger inspanningsniveau.
- De voor de ademhaling van personen benodigde hoeveelheid ventilatie ligt ten minste een factor 20 lager dan de eisen in de voorschriften. Van zuurstofgebrek zal daarom in normale gebouwen geen sprake kunnen zijn.
- Er zijn grote verschillen tussen de ventilatie-eisen in landen in Europa maar ook Noord-Amerika. De onderlinge verschillen bedragen, als roken als bron buiten

beschouwing wordt gelaten, ruwweg een factor 4. De reden voor de verschillen in eisen moet vooral gezocht worden in het percentage gehinderde dat per land acceptabel wordt geacht, maar ook in de relatief beperkte basis en onderbouwing van de eisen.

- Er is in dit onderzoek geen literatuur gevonden waaruit zou blijken dat door toepassing van geurmaskering de ventilatiestromen in gebouwen zouden kunnen worden verlaagd.

Nader onderzoek is noodzakelijk naar:

- het effect van bio-effluenten op de mens opdat de ventilatie-eisen een betere basis krijgen;
- het effect van geuren op de perceptie van mensen waarbij met name de invloed van de temperatuur onderzocht dient te worden.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding.....	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Ventilatie eisen en geurhinder	6
1.3	Doelstelling	6
2	Achtergronden van de ventilatie eisen in historisch perspectief	8
2.1	Pettenkofer	8
2.2	Yaglou	8
2.3	Bouwman	10
2.4	Fanger	11
2.5	Cain	14
3	Geur.....	15
3.1	Geurwaarneming	15
3.2	Geurhinder.....	15
4	Bio-effluenten of afscheidingsproducten van mensen	17
4.1	De belangrijkste afscheidingsplaatsen en -producten.....	17
5	Koolstofdioxide (CO₂) als indicator voor luchtkwaliteit.....	20
5.1	Koolstofdioxide (CO ₂) algemeen	20
5.2	CO ₂ -productie door mensen via de ademhaling	20
5.3	CO ₂ -grenswaarden.....	22
5.4	CO ₂ als indicator voor luchtkwaliteit	23
6	Beschrijving van de eisen op het gebied van ventilatie	25
6.1	Algemeen	25
6.2	Historie	25
6.3	Bouwbesluit.....	26
6.4	De Europese norm EN 15152.....	31
6.5	Vergelijking van normen en richtlijnen voor ventilatie van verschillende landen	32
7	Conclusies en aanbevelingen	34
8	Literatuur.....	36
9	Ondertekening	39

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ventilatie van gebouwen is noodzakelijk om de in die gebouwen verblijvende mensen van voldoende verse lucht te voorzien en mogelijke verontreinigingen af te voeren. De ventilatie is dus een maatregel om de binnenluchtkwaliteit in ruimten op een zodanig niveau te regelen dat zich geen negatieve effecten op de gezondheid van mensen zullen voordoen. Redenen om te ventileren kunnen dus zijn:

1. het voorkomen van een tekort aan zuurstof
2. het afvoeren van stoffen die door de mens zelf worden geproduceerd
3. het afvoeren van vluchtige stoffen die afkomstig zijn uit bouw- en inrichtingsmaterialen
4. het voorkomen van geurhinder
5. het creëren van een temperatuur, vochtigheid en luchtbeweging in een ruimte opdat mensen zich behaaglijk voelen.

De rijksoverheid heeft daartoe in het Bouwbesluit eisen gesteld aan de luchtverversing van ruimten. De overheid heeft daarbij als uitgangspunt dat ventilatievoorzieningen aanwezig zijn waarmee aan redelijke eisen van luchtverversing kan worden voldaan. Daarbij speelt het gebruik van de voorzieningen door de gebruikers van het gebouw een belangrijke rol. De ventilatie moet door de gebruiker kunnen worden geregeld. In de Nederlandse regelgeving wordt met betrekking tot de ventilatie-eisen geen rekening gehouden met roken in gebouwen. Evenmin mogen de emissies van bouw- en inrichtingsmaterialen de ventilatie-eisen bepalen. Het beleid van de overheid is er op gericht dat andere bronnen van verontreiniging dan effluenten van mensen bij een laag, vrijwel nooit te onderschrijden ventilatieniveau, geen problemen mogen veroorzaken.

Van oorsprong zijn de ventilatie-eisen gebaseerd op onderzoek dat in het verre verleden ligt, namelijk rond 1850. Tot nu toe werd vooral uitgegaan van voldoende ventilatie als de lucht in ruimten slechts een beperkte geurhinder veroorzaakt.

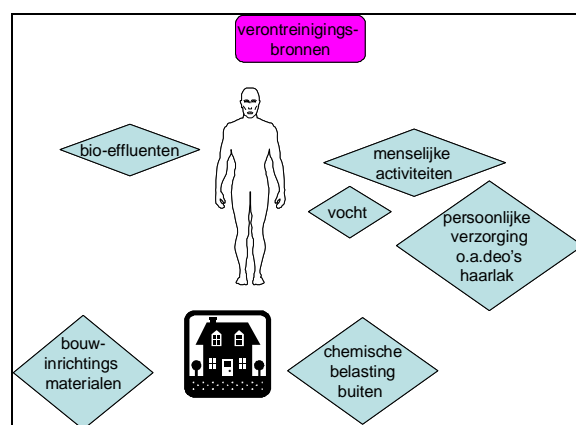
Ventilatie in ruimten heeft ook invloed op de luchtbeweging. Klachten over tocht ten gevolge van ventilatie komen regelmatig voor en zijn vaak aanleiding om de ventilatie te beperken door de ventilator op een lage stand te zetten of een rooster of raam dicht te doen of verder dicht te regelen.

Ventilatie betekent toevoeren van buitenlucht en afvoeren van verontreinigde binnenlucht. Bij lage buitentemperaturen (lager dan 5 tot 10 °C) kan de vrije warmte in gebouwen onvoldoende zijn om de binnenlucht tot de gewenste temperatuur te verwarmen. Er is dan verwarming nodig. Dit verwarmen heeft energiegebruik tot gevolg. Door de steeds zwaarder wordende energieprestatie-eisen voor gebouwen is het terugdringen van de ventilatie naar het minimaal vereiste niveau noodzakelijk. Dit leidt tot een beter op de vraag (behoefte) afgestemde ventilatie. Critici wijzen erop dat dit ook tot gezondheidsklachten kan leiden. Dit laatste is echter wetenschappelijk niet aangetoond. Niettemin ligt er duidelijk een wens om na te gaan op welk niveau er werkelijk geventileerd dient te worden om gezondheidsklachten door te lage ventilatie te minimaliseren.

In het kader van het EOS LT programma zijn binnen het project “Duurzame Projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen, renoveren en wonen na 2015” [1] in werkpakket WP1 twee taken geformuleerd namelijk WP 1.1 en WP1.2:

- WP 1.1 Literatuuronderzoek naar de verontreinigingen door de mens en de eisen op het gebied van ventilatie (zie Figuur 1);
- WP1.2 Studie naar de meest relevante agentia en daaraan gerelateerde indicator voor regeling van de ventilatie in relatie tot comfort, gezondheid en energie.

In dit rapport wordt het onderzoek dat in WP1.1 is beschreven, gerapporteerd.



Figuur 1. Bronnen van verontreiniging

In een afzonderlijk rapport wordt WP 1.2 behandeld. De titel van dat rapport luidt: “Een onderzoek naar de effecten en gevolgen van ventilatie”.

Beide rapporten kunnen op zichzelf worden gelezen en bestudeerd. Er is echter een onmiskenbare samenhang, zeker in het kader van het project EOS LT Duurzame Projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen, renoveren en wonen na 2015.

1.2 Ventilatie eisen en geurhinder

Ten tijde van het schrijven van het projectvoorstel waren er gedachten dat als geurhinder de enige bepalende variabele zou zijn voor door de mens geproduceerde verontreinigingen, er mogelijk energie te besparen zou zijn door bijvoorbeeld de volumestroom te verminderen en de geur te maskeren.

1.3 Doelstelling

De doelstelling is tweeledig:

- 1) Onderzoeken welke factoren de minimumventilatie in ruimten bepalen, om een oordeel te kunnen geven omtrent de vereiste ventilatieniveaus uit het oogpunt van een aanvaardbaar binnenmilieu.

De volgende onderzoeksvragen staan in dit deel van het onderzoek centraal:

- Wat is in de literatuur te vinden over de achtergrond of basis van de ventilatie eisen?
- Welke bio-effluenten scheidt de mens af?
- Welke invloed mag van die effluenten op de geurhinder worden verwacht?
- Kan CO₂ dienen als indicator voor de door de mens geproduceerde verontreinigingen?

2) Onderzoeken welke parameters relevant zijn voor de regeling van vraaggestuurde ventilatie. Hier wordt op ingegaan in het rapport “Een onderzoek naar de effecten en gevolgen van ventilatie“ [2]. Bovendien komen de effecten van ventilatie op het thermisch comfort, de gezondheid, het aandachtsniveau, de prestatie en de consequenties voor het energiegebruik aan de orde.

2 Achtergronden van de ventilatie eisen in historisch perspectief

2.1 Pettenkofer

Reeds rond 1850 voerde Max von Pettenkofer [3] onderzoek uit naar de luchtkwaliteit in ruimten. Hij had reeds als uitgangspunt dat men ruimten moest ventileren ten behoeve van mensen die daarin verblijven, waarbij die mensen zelf als enige bron van verontreiniging in die ruimten werden beschouwd. Alle andere bronnen beschouwde hij als vermijdbaar. Pettenkofer was de eerste die koolstofdioxide (CO₂) als indicator voor de door de mens geproduceerde verontreinigingen in de binnenlucht beschouwde. Hoewel CO₂ reukloos was en door mensen niet direct waarneembaar, was het naar zijn inzicht een maat voor de ventilatie die gebaseerd was op hinder door geuren.

Uit zijn onderzoek leidde Pettenkofer af dat een CO₂-concentratie van 1.000 ppm¹ niet zou moeten worden overschreden. Daarbij ging hij uit van een achtergrondniveau van circa 500 ppm. Waarschijnlijk bedroeg de werkelijke achtergrondconcentratie in die tijd eerder circa 300 ppm. Overigens heeft Pettenkofer nooit gesproken over een stijging ten opzichte van buiten². De 1.000 ppm wordt daarom in Duitsland ook wel het “Pettenkofer-Zahl” genoemd. Nog altijd wordt door vrijwel iedereen in de wereld, ook bij het opstellen van nationale en internationale normen, uitgegaan van het werk van Max von Pettenkofer.

2.2 Yaglou

De Amerikaan Yaglou voerde rond 1935 een onderzoek uit naar de subjectieve beoordeling van de luchtkwaliteit onder gebruikers van gebouwen. Hij ging daarbij uit van de geurperceptie door gebruikers van gebouwen. Hoewel elk mens de luchtkwaliteit anders ervaart en beoordeelt, bleek toch dat bij een statistische bewerking van zijn onderzoeksresultaten er een behoorlijk relatie met de door de mensen gegeven score van de luchtkwaliteit was en de werkelijk optredende ventilatie. Zijn onderzoek komt eigenlijk neer op eisen voor ventilatie die ergens liggen tussen 7 dm³/s en 10 dm³/s per persoon. Waarden die overigens globaal ook op grond van Pettenkofers onderzoek konden worden vastgesteld. Deze waarden zijn nu nog altijd over de gehele wereld als richtlijnen en eisen voor de ventilatie te vinden.

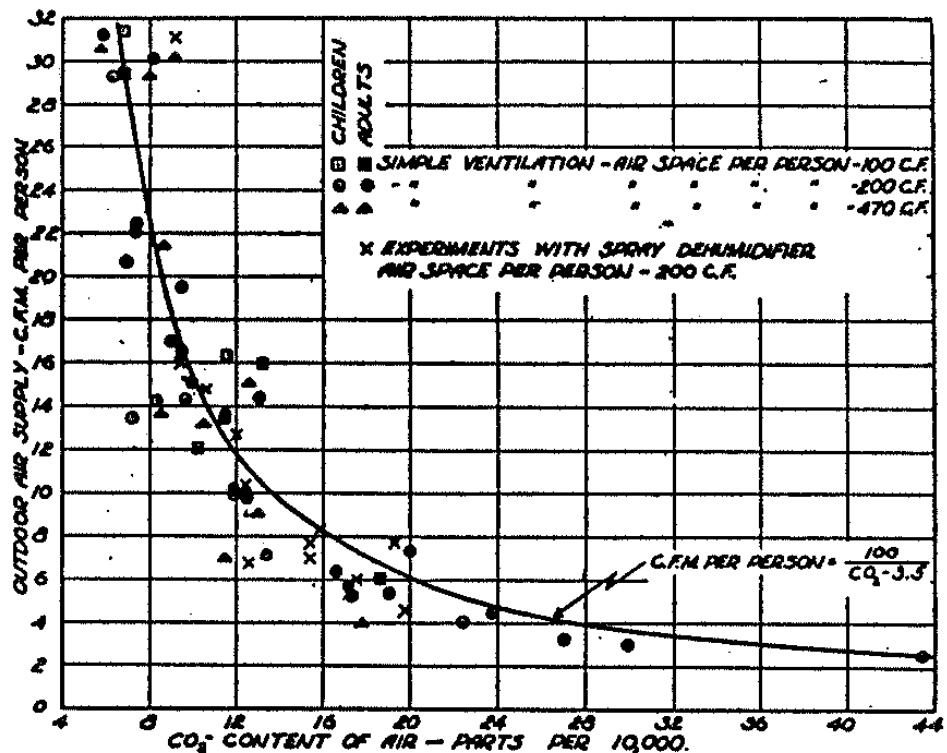
Yaglou [4] vond in zijn studie een redelijke relatie met de CO₂-concentratie (zie Figuur 2). Hij concludeerde en motiveerde in de conclusies van zijn onderzoek echter toch dat CO₂ geen goede indicator voor de luchtkwaliteit van menselijke verontreinigingen in de binnenlucht kon zijn. Hij baseerde dat voornamelijk op de volgende drie zaken:

¹ ppm staat voor parts per million of in het Nederlands delen per miljoen. Dat is dus een concentratie, ook wel aangeduid met de vermenigvuldigingsfactor 10⁻⁶. Een concentratie van 1.000 ppm kan ook worden geschreven als 1.000 * 10⁻⁶ en is gelijk aan een concentratie van 0,1%.

² Eigenlijk zou de CO₂-concentratie moeten worden uitgedrukt als een verschil concentratie (ΔC). Het gaat immers niet om de buitenconcentratie maar om de stijging ten opzichte van de buitenconcentratie ten gevolge van het door mensen via de ademhaling geproduceerde CO₂.

1. Het feit dat lichaamsgeuren volgens hem een grote mate van instabiliteit vertonen.
2. Het feit dat de mate van CO₂-productie bij kinderen heel anders was dan bij volwassenen, terwijl de geurhinder bij gelijke ventilatie bij kinderen duidelijk groter was.
3. Het feit dat mensen verschillende hygiënische gewoonten hadden en dus ook meer of minder geurhinder konden veroorzaken.

Hoewel de bovengenoemde 3 zaken in principe juist zijn, wordt ook in alle onderzoeken die later worden uitgevoerd, CO₂ als beste indicator gebruikt voor de luchtkwaliteit in relatie tot de bio-effluenten³ van mensen.

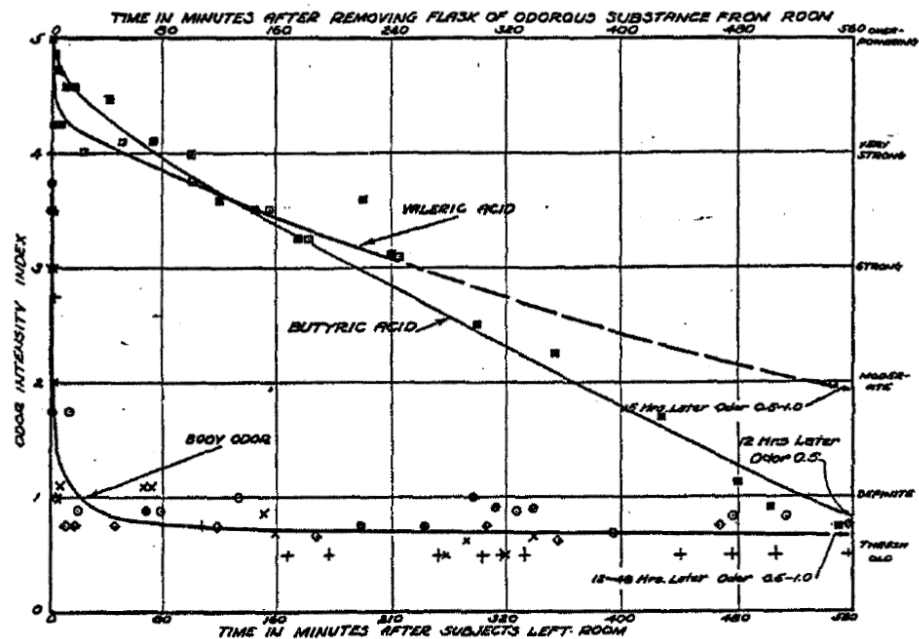


Figuur 2. Het verband tussen ventilatie en CO₂ volgens Yaglou [4]

In zijn onderzoek toonde Yaglou de instabiliteit van met name boterzuur/butaancarbonsuur en in mindere mate valerianaanzuur aan [5]. Yaglou is overigens de eerste die opmerkte dat geur en geurhinder waarschijnlijk een relatie hebben met de temperatuur en de luchtvochtigheid.

In Figuur 3 is duidelijk waarneembaar dat als de lichaamgeur na enige tijd vrijwel constant wordt, de afname van boterzuur en valerianaanzuur nog uren doorgaat. Dat wijst in de richting dat boterzuur en valerianaanzuur waarschijnlijk niet de stoffen zijn die de geurhinder veroorzaken. Bij het lezen van de X-as moet men bedenken dat 2 cfm ongeveer gelijk is aan 1 dm³/s (2 cfm is exact 0,944 dm³/s).

³ De term 'bio-effluenten' wordt in dit rapport gebruikt als verzamelterm voor alle stoffen die door het menselijk lichaam worden afgescheiden.

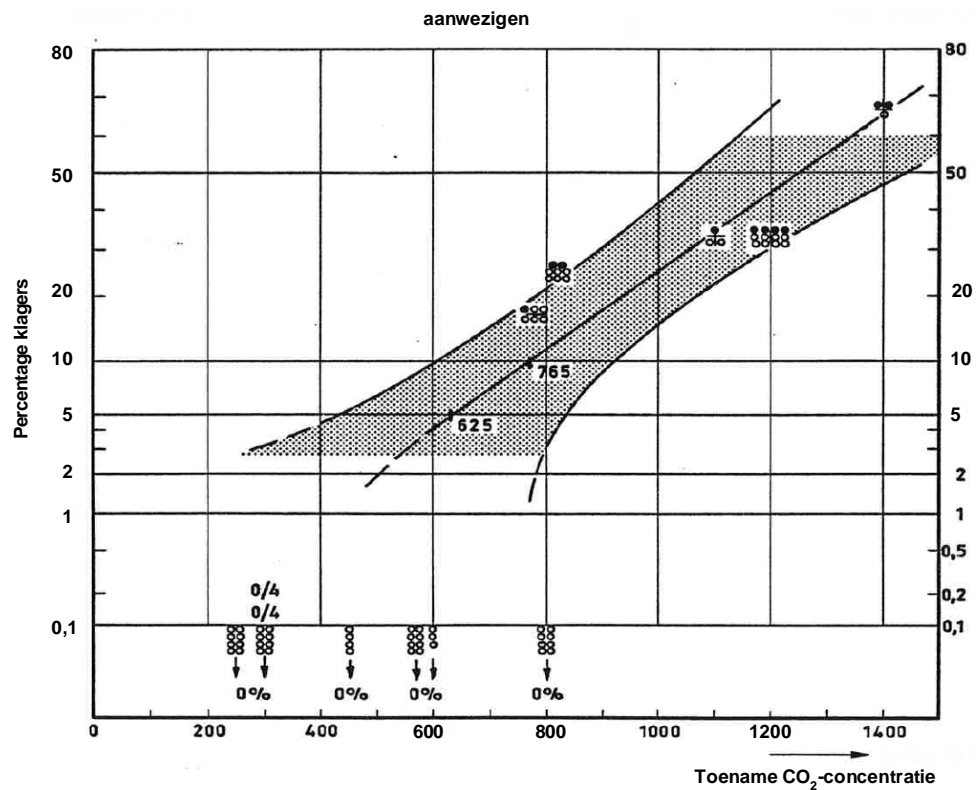


Figuur 3. De afname van lichaamsgeur en die van boterzuur en valeriaanzuur in de tijd volgens Yaglou [5]

2.3 Bouwman

Bouwman onderzocht in Nederlandse kantoorgebouwen rond 1980 de relatie tussen geurhinder en ventilatie bij verschillende bezettingen van mensen per vierkante meter vloeroppervlakte [6]. Hij kwam evenals Yaglou overigens tot de conclusie dat bezoekers veel meer klachten over geurhinder gaven dan de mensen die in een ruimte verblijven. De CO_2 -concentratie varieerde in zijn onderzoek tussen de circa 600 ppm en 1.750 ppm. Het aantal proefpersonen was zeer beperkt namelijk circa 20. Men bedenke hier ook, dat het in die tijd normaal was, dat er in kantoorruimten mocht worden gerookt. Zijn proeven bevatten dus soms situaties met rokers onder de gebruikers van de ruimten. De ventilatiestroom per persoon varieerde gedurende de proeven tussen $3,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ en $25,0 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Figuur 4 laat zien dat bij 800 ppm verhoging, ruim 10% van de aanwezigen zal klagen over hinderlijke geuren. De spreiding is groot, zoals het 90% betrouwbaarheidsinterval (de arcering) in de figuur aangeeft. Voor personen die een lokaal binnenkomen, ligt het percentage klagers overigens circa 10% hoger. Dit duidt op adaptatie van het reukorgaan, onze neus. Een andere reden is gelegen in het feit dat de mens veranderingen in geur scherper kan waarnemen dan stabiele absolute niveaus. Om onder de aanwezigen in een ruimte niet meer dan 5% klachten over geurhinder te krijgen is volgens het onderzoek van Bouwman een ventilatiestroom per persoon nodig van circa $10 \text{ dm}^3/\text{s}$. Dit is redelijk in overeenstemming met de resultaten van de onderzoeken van Pettenkofer en Yaglou.



Figuur 4. Verband tussen CO₂-toename ten opzichte van buiten en ontevreden over geur volgens Bouwman [6]

2.4 Fanger

Ole Fanger uit Denemarken deed, na zijn door de gehele wereld gebruikte en geaccepteerde theorie over het thermisch comfort, rond 1987 een belangrijke studie waarbij de binnenlucht kwaliteit door geurhinder centraal stond [7]. Hij onderscheidde daarbij niet alleen geur van personen maar ook geur van alle andere mogelijke bronnen in een ruimte, zelfs die geur die afkomstig was van het ventilatiesysteem zelf. Zijn theorie berust op het waarnemen van geuren en de daarbij behorende perceptie van mensen.

De geurbelasting drukt hij uit in decipol terwijl een verontreinigingbron wordt uitgedrukt in olf. Een olf is gelijk aan de belasting van de geur van 1 rustig zittende normaal geklede en zichzelf volgens standaard hygiënische maatregelen verzorgende persoon⁴ met een activiteitsniveau van 1 MET⁵. Hij beschouwt de olf als een relatieve maat voor de bio-effluenten die een normaal mens afscheidt. Hij kent ook aan alle andere bronnen dan mensen, zoals verontreinigingen door bouw- en

⁴ Standaard hygiënisch maatregelen zijn volgens Fanger 0,7 bad- of doucheactiviteit per dag, dagelijks schoon ondergoed en gebruik van deodorant.

⁵ Eén MET komt overeen met het metabolisme (stofwisseling) van een zittende, rustende persoon van 58,15 W/m² lichaamsoppervlakte. Voor een volwassene is dat oppervlak ongeveer 1,8 m² en is het totale metabolisme 1,8*58,15=104,67 W, waarin ongeveer 22W voor verdamping van water (voornamelijk via de ademhaling). Een andere grootte is het activiteitsniveau dat uitgaat van een slapende persoon, 1 MET komt overeen met een activiteitsniveau van 1,2.

inrichtingsmaterialen, de term olf toe. Afhankelijk van de activiteit en bijvoorbeeld of iemand een roker is of niet, geeft hij richtlijnen voor de bronsterkte in olf.

Rustig zittend standaard persoon	1 olf
Actief persoon met 6 MET activiteit	11 olf
Roker niet rokend	6 olf
Roker tijdens roken	25 olf

Volgens Fanger [7] en Bluysen [8] kan men de olf van verschillende bronnen lineair optellen. Dit laatste wordt door diverse wetenschappers betwijfeld. Geuren van zeer verschillende bronnen kunnen immers een geheel verschillend effect hebben op de perceptie van mensen. Veel mensen zullen geur van parfum bijvoorbeeld lekker vinden ruiken, terwijl sommigen het als bijna ondraaglijk zullen ervaren. Daar komt nog bij dat bepaalde stoffen zoals bijvoorbeeld parfums ook een verdringend of maskerend effect kunnen hebben.

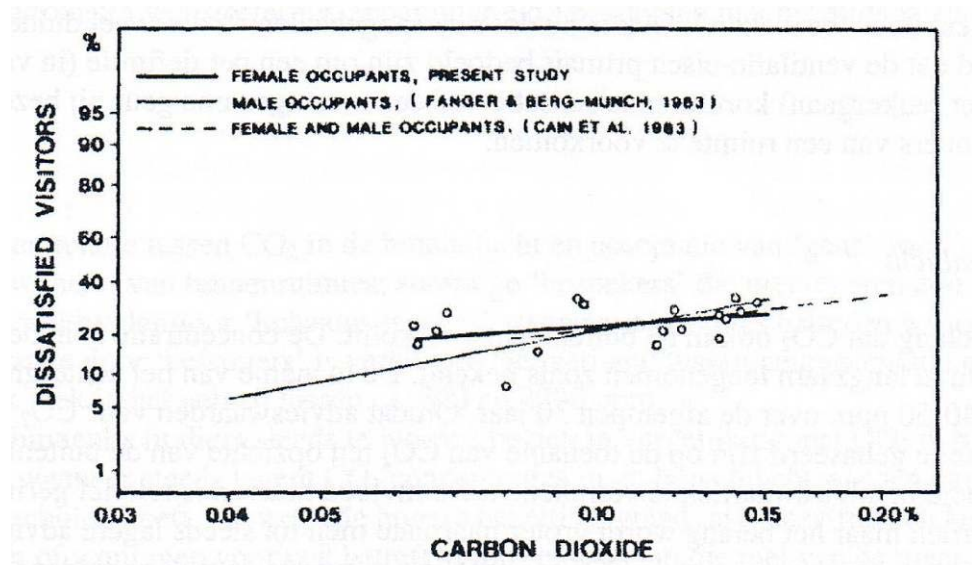
De decipol is een maat voor de geurconcentraties. Het is de concentratie van 1 olf aan geurbelasting gedeeld door een lucht volumestroom van zuivere niet verontreinigde lucht van 10 dm³/s. Ook ontwikkelde Fanger een decipol belastingschaal. Hij onderscheidde daarbij een aantal niveaus, namelijk:

- Buitenlucht in de bergen 0,01 decipol
- Buitenlucht in de stad 0,1 decipol
- Binnenlucht in een gezond gebouw 1,0 decipol
- Binnenlucht in een gebouw met gezondheidsklachten 10,0 decipol

Wat aan deze schaal direct opvalt, is dat de stappen onderling een factor 10 verschillen, hetgeen wijst op een logaritmisch effect. Overigens is het vrijwel onmogelijk gebleken om met geurpanels een niveau onder de 1 decipol vast te stellen.

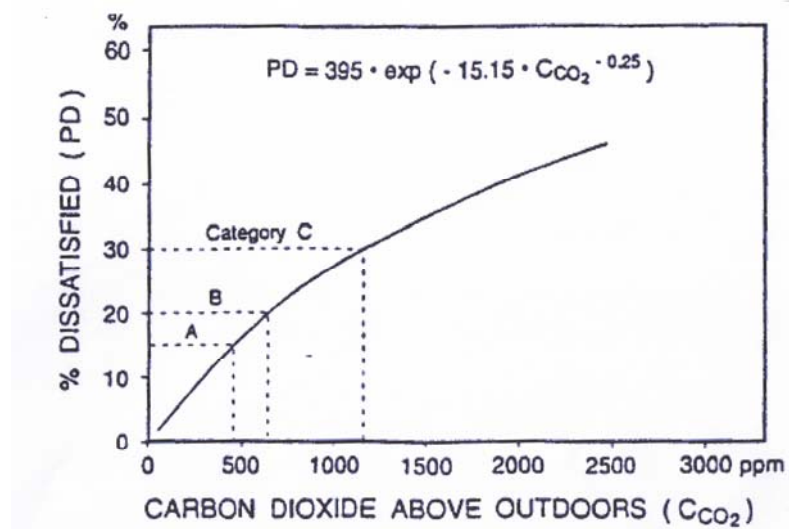
Een tussenstap tussen Fanger met zijn olf/decipol theorie is uitgewerkt door Berg-Munch [9], medewerker van Fanger. Deze heeft getracht een verband te leggen tussen de CO₂-concentratie in de lucht en het ervaren van hinder door geur. De in Figuur 5 gesuggereerde relatie tussen de CO₂-concentratie en het aantal gehinderde personen door geur is niet sterk.

De onderzoekers zelf geven in de publicatie geen uitsluitel of het hier een significant verschijnsel betreft of niet. Het aantal proefpersonen en de spreiding in de scores geven aanleiding te veronderstellen dat dit niet het geval is.



Figuur 5. Het percentage ontevreden over de geur in relatie tot de CO₂-concentratie in een ruimte volgens Fanger en Berg-Munch [9]

Niettemin is op basis van dit onderzoek en het oorspronkelijke onderzoek door Fanger toch getracht deze theorie als basis te laten dienen voor internationale ventilatienormen. Hiertoe heeft Fanger samen met Olesen [10] getracht zowel in Europese (CEN) normen als normen (ISO) die wereldwijd worden gebruikt, zijn theorie en onderzoeksresultaten als basis te laten gelden voor ventilatie-eisen. Op grond van zijn theorie zou er dan een ventilatiebehoefte zijn voor mensen en daarnaast één voor alle andere bronnen. De basis voor die Europese normering wordt dan ontleend aan Figuur 6.



Figuur 6. De relatie tussen ΔCO_2 en het te verwachten percentage mensen dat ontevreden is volgens Fanger en Olesen [10]

Voor een bepaalde klasse moeten de volumestroomeisen (q_v) die nodig zijn voor mens en alle andere bronnen dan worden opgeteld volgens de volgende vergelijking:

$$q_{v,\text{totaal}} = q_{v,\text{mens}} + q_{v,\text{overig}}$$

Deze benadering is met name in Verenigde Staten overgenomen zonder overigens over olf en decipol te spreken. Alles is uitgedrukt in een vereiste volumestroom per eenheid van vloeroppervlakte voor personen en andere bronnen. Ook in bijlagen van een enkele Europese norm wordt dit principe gehanteerd. Op deze benadering is wel een en ander af te dingen. Ventilatielucht die de geur van mensen al heeft verdund of afgevoerd zal ook tegelijkertijd nog andere verontreiniging verdunnen of afvoeren, omdat verwacht mag worden dat die andere bronnen verschillen in samenstelling ten opzichte van de menselijke bio-effluenten.

2.5 Cain

De Amerikaan Cain heeft rond 1983 onderzoek uitgevoerd naar de perceptie van geur door gebruikers en bezoekers van gebouwen [11]. Hij stelde, evenals in eerder in dit rapport besproken onderzoek, vast dat er een belangrijk verschil bestaat tussen de geurperceptie van mensen die in een ruimte aanwezig zijn en zij die diezelfde ruimte bezoeken. De resultaten van zijn studie zijn samengevat in Tabel 1.

Tabel 1. Het verband tussen de geurscore en de ventilatie volgens Cain [11]

Ventilatie per persoon [dm ³ /s]	Percentage acceptatie van geur [%]	
	Gebruikers	Bezoekers
2,5	96	68
5	96	75
7,5	92	79
10	95	81

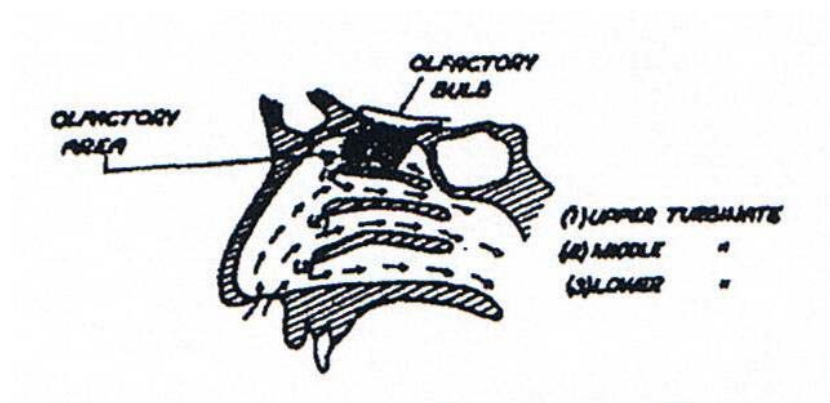
Op basis van de onderzoeksresultaten van Cain lijkt het erop dat de gebruikers van een ruimte vrijwel geen verschil ervaren bij een variatie in ventilatie van een factor 4. Hierbij moet worden opgemerkt dat een ventilatiestroom per persoon die lager is dan 5 dm³/s door vrijwel iedereen wordt gezien als onvoldoende ventilatie. Bij de bezoekers is er vrijwel geen verschil in geurperceptie bij een ventilatie van meer dan 7,5 dm³/s. Bij dit ventilatieniveau ligt het percentage ontevreden bezoekers met betrekking tot geur op circa 20%.

3 Geur

3.1 Geurwaarneming

Het waarnemen van geuren werd in het midden van de 19^e eeuw onderzocht door Weber en Fechner. De theorie is beschreven door Maclean Pierce [12].

Geuren zijn reeds bij zeer lage concentraties waarneembaar. Boterzuur, dat door de mens wordt afgescheiden, kan bijvoorbeeld al bij een concentratie van $9 \cdot 10^{-12}$ mg/m³ worden waargenomen met de neus. In de neus bevindt zich het zogenaamde olfactorische gebied. Het reukorgaan bevindt zich daar. Het reukorgaan is snel vermoeid als de stimulus van een verontreiniging voortduurt, maar het zal een plotselinge verandering of een nieuwe geur snel waarnemen.



Figuur 7. Een doorsnede van de neus met het luchtstromingspatroon tijdens inademing

De werking van de neus is logaritmisch. Dit is vastgesteld in onderzoek van Weber en Fechner die daaromtrent een wetmatigheid hebben afgeleid.

$$E = k \cdot \log(R / R_0)$$

mit k: Weber-Fechner-Koeffizient
 E: Empfindungsstärke
 R: Reizstärke
 R₀: Reizstärke an der Geruchsschwelle

Verder blijkt er een geurdrempel te bestaan en een geurverschil dat juist waarneembaar is. De logaritmische werking van het reukorgaan in de neus leidt er dus toe dat een concentratieverschil van een factor 10 met de neus ongeveer als een factor 2 verschil zal worden ervaren.

3.2 Geurhinder

Geur in ruimten komt veelal van de mensen zelf. Omdat sommige van de stoffen die mensen afscheiden bij een zeer lage concentratie al waarneembaar zijn, lijken deze stoffen voor de geurhinder van relatief groot belang. Maar natuurlijk kunnen ook andere bronnen oorzaak zijn. Bijvoorbeeld geurhinder zoals kookgeuren en geuren van materialen die vluchtige stoffen afscheiden.

Geur wordt vaak uitgedrukt op een zevenpunts geurhinderschaal⁶:

1. niet waarneembaar
2. juist waarneembaar
3. waarneembaar maar niet hinderlijk
4. duidelijk waarneembaar maar nog net aanvaardbaar
5. duidelijk waarneembaar maar net niet aanvaardbaar
6. duidelijk waarneembaar maar absoluut niet aanvaardbaar
7. duidelijk waarneembaar maar niet aanvaardbaar, zelfs misselijkmakend

Yaglou en Bouwman gebruikten voor het niet waarneembare niveau het getal 0. Geurwaarneming door mensen blijft een subjectieve zaak. Wat de één een aanvaardbaar niveau vindt, vindt de ander niet acceptabel of aanvaardbaar. Dit leidt tot behoorlijke spreiding in uitkomsten bij onderzoek naar geurwaarneming door mensen.

Het blijkt mogelijk geuren te maskeren of te verdringen door een voor de meeste mensen prettiger geur. Hoewel hiernaar geen wetenschappelijk onderzoek bekend is, wordt in woningen hiervan gebruikt gemaakt in toiletten door de luchtverfrisser. In warenhuizen wordt hiervan gebruik gemaakt door geuren te verspreiden die gunstig zouden kunnen zijn voor de verkoop van bepaalde producten.

⁶ De zevenpuntsschaal wordt door verschillende onderzoekers vaak met andere getallen aangeduid.

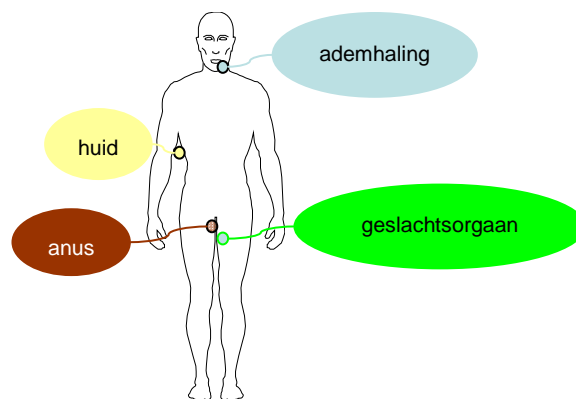
4 Bio-effluenten of afscheidingsproducten van mensen

4.1 De belangrijkste afscheidingsplaatsen en -producten

De mens scheidt via vier organen stoffen af:

1. via de mond
2. via de huid (oksels, voeten)
3. via de anus
4. via de geslachtsorganen (penis en vulva).

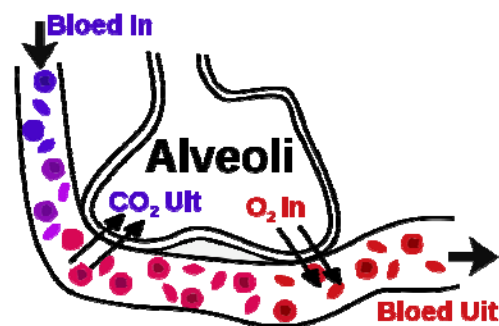
Een schematisch weergave daarvan staat in Figuur 8.



Figuur 8. Schematische weergave van de vier belangrijkste bronnen die afscheiding van stoffen (bio-effluenten) veroorzaken

4.1.1 De mond

Via de mond ademen we lucht in en uit. Bij de uitademing komen geuren uit de mond vrij, maar ook CO_2 en vocht. De longen bevatten longblaasjes of alveoli waar de gasuitwisseling plaatsvindt. Bij deze gaswisseling wordt zuurstof vanuit de lucht opgenomen in het bloed, terwijl CO_2 en waterdamp wordt afgegeven aan de lucht. Uitgeademde lucht bevat circa 4% CO_2 (40.000 ppm) (zie Figuur 9).



Figuur 9. Het proces van gaswisseling in longen

Mondgeuren kunnen weer bestaan uit afscheidingsproducten van mondbacteriën in de slijmlaag en het speeksel, etensgeuren, drankgeuren of tabaksrookgeur, maar bij een slechte klepwerking van de maag kunnen zelfs geuren uit het spijsverteringsproces een rol spelen. Normale mondgeuren bij gezonde mensen zullen, bij een goede hygiëne en regelmatig poetsen van het gebit, meestal geen problemen opleveren. Spijsverteringsgeuren kan men wel bestrijden door bijvoorbeeld het eten van pepermunt en bijvoorbeeld peterselie voor knoflook. Dit is in feite toepassing van het verdringings- of maskeringsprincipe.

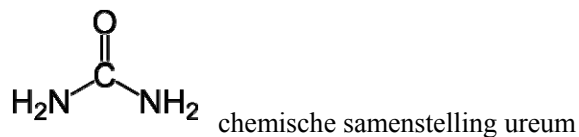
4.1.2 De huid

Via de huid kunnen door zweten, met alle bijproducten, maar ook vanwege huidvet, stoffen in de lucht worden gebracht [13][14]. Op de stoffen die via de huid worden afgescheiden wordt nader ingegaan omdat deze een belangrijke rol blijken te spelen.

Bromhidrosis, osmidrosis en ozochrotia zijn lichaamgeuren die het gevolg zijn van bacteriën die op de huid leven en groeien. De bacteriën vermenigvuldigen zich sterk tijdens het zweten. Al deze stoffen komen voor op de huid en in het haar. Met betrekking tot geurverspreiding via de huid spelen de lies en de oksels de belangrijkste rol.

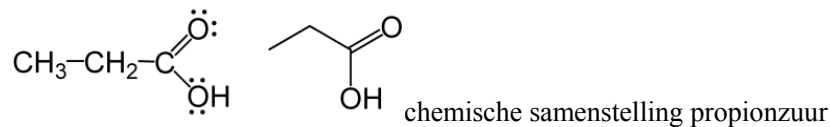
Lichaamsgeuren worden in belangrijke mate beïnvloed door wat in de scheikundige literatuur MHC-moleculen wordt genoemd. MHC staat voor Major Histocompatibility Molecules. Deze stoffen zijn meestal genetisch bepaald en spelen een rol bij de immuniteit van onze organen. Hoewel zweten een verschijnsel is dat primair een vorm van thermoregulatie bewerkstelligt, is ook vastgesteld dat bepaalde componenten in zweet feromonen kunnen bevatten die een rol kunnen spelen bij de aantrekking van mensen op elkaar.

Bij het zweten blijven ook zouten achter op de huid en komt ureum, ammonia en suiker vrij. Zweet bevat ook phenolen of cresolen die voor geur zeer belangrijk zijn: het 2-methylphenol (o-cresol) en 4-methylphenol (p-cresol). Ureum is een organische verbinding met de scheikundige formule $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.



Tot slot van dit gedeelte nog iets over huidvet en huidolie wat ook wel talg of sebum wordt genoemd. Talg heeft een beschermende werking tegen uitdroging van huid en haar en tegen infectie door bacteriën en schimmels. Talg op zichzelf is reukloos maar de bacteriële afbraakproducten kunnen geuren produceren. Een bekend verschijnsel van talg is oorvet. Talg bestaat voor circa 25% uit was van mono-esters, voor circa 41% uit triglycerides, voor circa 16% uit vrije vetzuren en voor circa 12% uit vuil, meestal gebonden fijn stof.

Het kleurloze vrije vetzuur propionzuur speelt waarschijnlijk een belangrijke rol als veroorzaker van lichaamsgeuren



4.1.3 *De anus*

Via de anus worden faeces en gassen uitgescheiden. Normaliter komen deze producten wel via de lucht vrij, maar verdwijnen ze voor een groot deel via de toiletpot in het riool. De gassen, voornamelijk bestaande uit methaangas (CH₄), komen soms ook via de kleding vrij in andere ruimten dan toiletten. Dit verschijnsel is soms goed merkbaar en wordt als zeer storend ervaren. Het is meestal echter van korte duur omdat de hoeveelheid erg gering is en relatief snel verdund zal worden met de lucht in de ruimte.

Alle stoffen die in de toiletruimte vrijkomen via de lucht zullen vrijwel nooit geurproblemen geven omdat de ventilatie van de toiletruimte zodanig zou moeten zijn dat er onderdruk ontstaat, waardoor verspreiding naar andere ruimten tot een minimum wordt beperkt. Bij het openen van de toiletdeur vindt een niet acceptabele verspreiding plaats. De oplossing is een afgezogen toiletpot. Dit kan grotendeels met dezelfde ventilatieluchtstroom die al voor toiletruimten wordt gebruikt. In de toiletruimte zelf kan het wel zeer hinderlijk ruiken en daartegen helpt de afgezogen toiletpot eveneens. Ook worden vaak luchtverfrissers gebruikt in toiletruimten, waarvan de werking berust op het principe van maskering van geuren.

Verspreiding van micro-organismen uit de faeces is niet uitgesloten. Het is één van de redenen om onze handen te wassen aan het einde van de toiletgang. Een andere reden is dat via contact stoffen die de gezondheid bedreigen kunnen worden overgebracht. Het is ook niet uitgesloten dat verspreiding direct via de lucht plaats kan vinden, direct bij toiletgebruik maar ook via doorslaande stankafsluiters in rioleringsystemen.

4.1.4 *Het geslachtsorgaan*

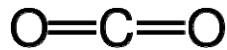
Via de penis bij mannen en de vulva bij vrouwen wordt urine afgescheiden. Urine bevat ureum dat een voor de meeste mensen zeer hinderlijke geur verspreidt. Deze geurverspreiding is met betrekking tot toiletruimtes op dezelfde wijze als beschreven in hoofdstuk 4.1.3 tegen te gaan.

5 Koolstofdioxide (CO₂) als indicator voor luchtkwaliteit

5.1 Koolstofdioxide (CO₂) algemeen

Koolstofdioxide (CO₂) is een gas dat werd ontdekt in het begin van de 17e eeuw door de Vlaamse fysioloog en arts Jan Baptista van Helmont die het "sylvestergas" noemde. Hij stelde vast dat na verbranding van houtskool in een gesloten kom, de restmassa kleiner was dan de oorspronkelijke massa. Zijn besluit was dat het verschil veranderd was in een "wilde geest" (spiritus sylvestre) of gas. Koolstofdioxide wordt ook wel koolzuurgas genoemd.

De chemische structuurformule van koolstofdioxide is:



Koolstofdioxide heeft een molecuulmassa van 44 en is gasvormig bij atmosferische druk. Het heeft een soortelijke massa (ρ_{CO_2}) van bijna 2 kg/m³ en is daarmee aanzienlijk zwaarder dan lucht ($\rho_{\text{lucht}} = \text{circa } 1,25 \text{ kg/m}^3$). Omdat de CO₂-concentratie in de ademhalingslucht slechts 4% bedraagt en de temperatuur van deze lucht 37 °C is, is de uitgeademde lucht toch nog lichter dan de omgevingslucht. Mede door de luchtsnelheid bij uitademing zal de uitgeademde lucht opmengen in de ruimtelucht en in de praktijk niet uitzakken. Omdat de ventilatie in gebouwen meestal het principe van volledige menging benadert, is de CO₂-concentratie in een ruimte vrijwel overal gelijk, met uitzondering van de ademzone.

5.2 CO₂-productie door mensen via de ademhaling

Over de CO₂-productie door mensen is vrij veel bekend. Uit literatuur [15][16] blijkt dat de CO₂-productie van de mens voornamelijk afhankelijk is van:

- het metabolisme
- het zuurstofgebruik
- het geslacht
 - bij vrouwen het stadium van de zwangerschap
- de leeftijd
- de massa van personen
- de lengte van de persoon.

Door Bouwman en Joosting is de samenhang in kaart gebracht [17]. Op basis hiervan is bij TNO een CO₂-model ontwikkeld. In Figuur 10 is het beeld weergegeven dat het model geeft als uitkomst van een bepaalde combinatie van parameters. Het model berekent het verloop van de CO₂-concentratie in de tijd.

De invoergegevens zijn:

person: number=1 age=40 y sex=woman length=1.7 m mass=70 kg activity=1.3
 room: volume=30 m³ ventilation=0.005 m³/s
 metabolism=93.9 W
 qCO₂=4.13E-06 m³/s qO₂=-4.98E-06 m³/s

Het programma gebruikt een numerieke massabalans, die qua resultaat overeenkomt met de formule:

$$C_t = C_{\text{buiten}} + p/q_v (1 - e^{-t/\tau})$$

waarin:

C_t = de concentratie op tijdstip t

C_{buiten} = de buiten concentratie

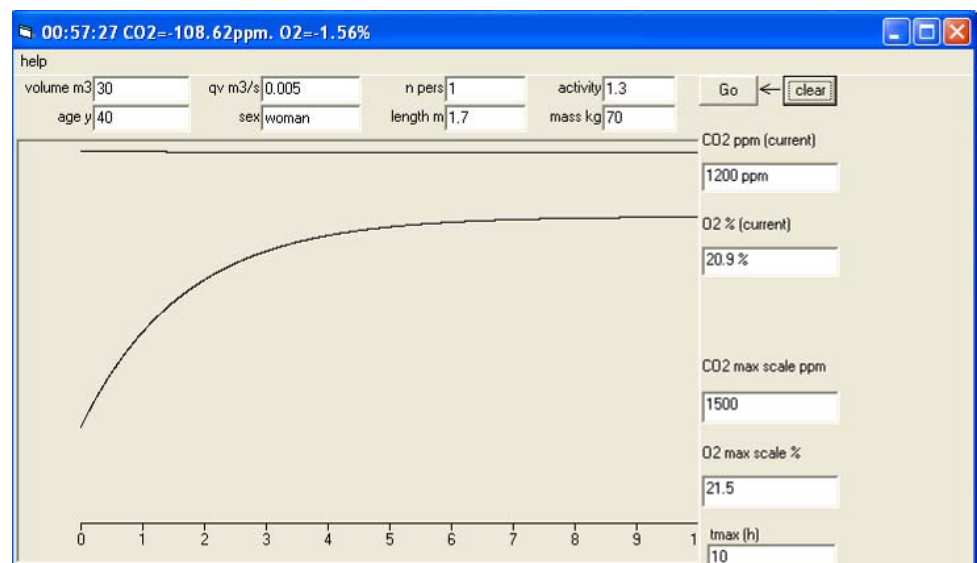
p = de bronsterkte CO_2 [m^3/s]

q_v = de ventilatievolumestroom [m^3/s]

τ = de ventilatietijdconstante[s] ($\tau=3600/\text{ventilatievoud}[\text{per uur}]$)

t = de tijd[s]

Op de horizontale as staat de tijd in uren, terwijl op de verticale as de CO_2 -concentratie in ppm staat weergegeven.



Figuur 10. Een voorbeeld van een grafisch resultaat van een berekening met het CO_2 -model van TNO

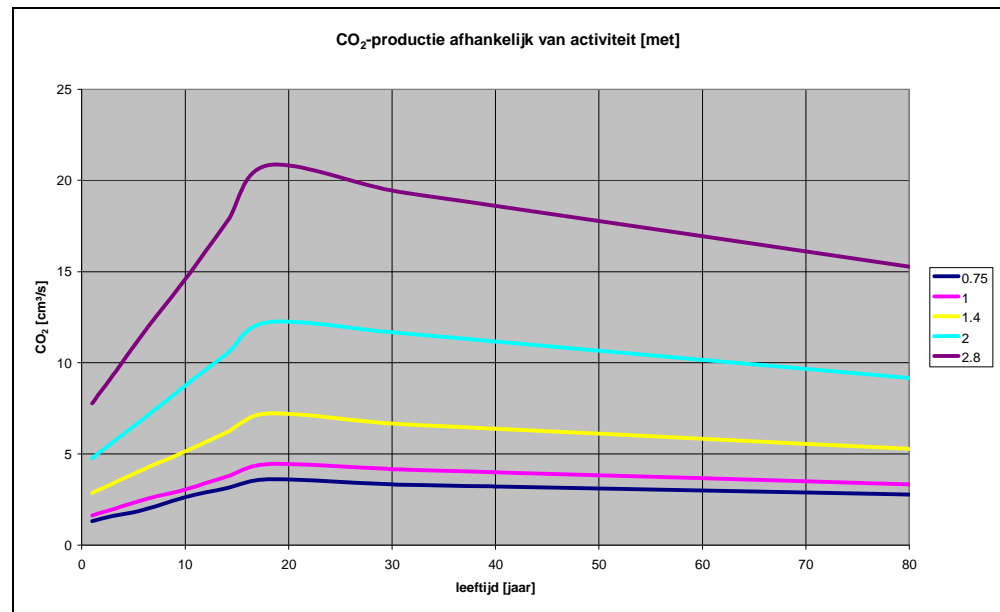
De uitvoer in tekst wordt hieronder weergegeven.

CO_2 buiten = 387.8ppm

tijd	CO_2	O_2	$d\text{CO}_2$	$d\text{O}_2$
uur	ppm	%	ppm	%
0	389.2	21	1.38	-0.000165
1	761.2	21	373	-0.045
2	966	20.9	578	-0.0697
3	1078	20.9	690	-0.0832
4	1140	20.9	752	-0.0906
5	1174	20.9	786	-0.0947
6	1192	20.9	804	-0.0969
7	1202	20.9	815	-0.0981
8	1208	20.9	820	-0.0988
9	1211	20.9	823	-0.0992
10	1213	20.9	825	-0.0992

Het TNO-CO₂-model wordt gebruikt in andere ventilatiesimulatiemodellen waarbij bijvoorbeeld de consequenties van de werkelijk optredende ventilatie over het gehele jaar op de blootstelling aan CO₂ voor personen die in verschillende ruimten van een gebouw verblijven, worden berekend. Omdat CO₂ vaak als indicator voor de door de mens geproduceerde verontreinigingen wordt beschouwd, kan men langs die weg inzicht verkrijgen in de blootstelling van mensen.

In Figuur 11 is de afhankelijkheid van de CO₂-productie van personen weergegeven als functie van de leeftijd en het activiteitsniveau.



Figuur 11. Relatie tussen CO₂-productie en leeftijd.

5.3 CO₂-grenswaarden

Allereerst moet men bij het beschouwen van CO₂-concentraties binnen altijd de buitenconcentratie als uitgangspunt nemen. De mens verhoogt immers de concentratie in de lucht die van buiten naar binnen komt met koolstofdioxide uit de ademhaling. De CO₂-concentratie buiten is niet constant en is ook afhankelijk van tijd en plaats. In het centrum van een stad bijvoorbeeld kan de CO₂-concentratie in het spitsuur aanzienlijk hoger zijn dan 's nachts als er weinig verkeer is. Daarnaast stijgt de gemiddelde CO₂-concentratie in de dampkring. Deze stijging wordt mede verantwoordelijk gehouden voor het broeikaseffect. De stijging bedraagt over de laatste jaren tussen 1 à 2 ppm per jaar [18]. Algemeen wordt op dit moment uitgegaan van een concentratie van circa 400 ppm. Overigens doet het er in principe weinig toe omdat het altijd gaat om de verschilconcentratie ten opzichte van buiten (ΔC). Omdat bij metingen echter veelal alleen de totale concentratie wordt bepaald, moet bij nadere analyse een aanname worden gemaakt voor de buitenconcentratie. Het is dus nauwkeuriger de binnen en buitenconcentratie te meten.

In Tabel 2 worden enkele CO₂-waarden samengevat die algemeen zijn aanvaard als waarden waarvan men redelijkerwijs kan uitgaan bij beschouwingen over kooldioxide.

De genoemde MAC-waarde voor CO₂ is afkomstig uit de Duitse en Engelse gegevens. In Nederland bestaat geen MAC-waarde meer voor CO₂. Het MAC-waardenbeleid is in Nederland voor bepaalde stoffen vervangen door een systeem met grenswaarden.

Tabel 2. Algemeen gehanteerde grenswaarden voor de CO₂-concentratie in ruimten

Omstandigheid	CO ₂ -concentratie [%]	CO ₂ -concentratie [ppm]
buiten	circa 0,04	400
comfortgrens	0,10 – 0,15	1.000 – 1.500
MAC-waarde	0,5	5.000
schuilkelders	maximaal 2	maximaal 20.000
onderzeeboten	maximaal 3	maximaal 30.000
dodelijk	10%	100.000

5.4 CO₂ als indicator voor luchtkwaliteit

Het gebruik van CO₂ als indicator voor de binnenluchtkwaliteit is vanzelfsprekend aan beperkingen gebonden:

1. men dient het concentratieverschil met buiten (ΔC) als basis te nemen
2. het kan ook slechts als CO₂ echt de bepalende grootte voor ventilatie is.

Vooraf op dit laatste punt zijn nogal wat opmerkingen te maken:

- er mogen geen andere CO₂-bronnen een rol spelen
- er mag geen vorm van reiniging van CO₂ in de ruimte aanwezig zijn
- andere verontreinigingen moeten bij de ventilatie gebaseerd op CO₂ altijd zodanig worden verdund en afgevoerd, dat zij niet tot een onnodige belasting voor de gezondheid leiden.

In een huishouden waar op gas wordt gekookt of waar open verbrandingstoestellen voorkomen (keukengeiser), zijn ook dat bronnen van CO₂. De CO₂-concentratie in een keuken waar op gas wordt of net is gekookt als maatstaf voor de ventilatie nemen, is dus onjuist.

Om de orde van grootte te bepalen het volgende:

Koken

In een gemiddeld huishouden wordt voor koken 65 m³ aardgas per jaar verbruikt. Bij volledige verbranding produceert 1 m³ Gronings aardgas 1 m³ CO₂ en 2 m³ H₂O (waterdamp) [19]. Bij twee kookuren per dag is dus de gemiddelde CO₂-productie tijdens koken circa 0,025 dm³/s. Een mens produceert ongeveer 0,006 dm³/s CO₂ via uitademing. Uit dit voorbeeld blijkt duidelijk dat de CO₂-productie tijdens het koken op gas bepalend kan zijn voor de CO₂-concentratie in de ruimte. Dit hangt mede af van de aanwezigheid en de effectiviteit van een afzuigkap.

Roken

Rook van een sigaret bevat tot 40mg CO₂. Dit levert circa $1 \cdot 10^{-7}$ m³/s CO₂ per continu brandende sigaret, een factor 50 tot 300 minder dan de CO₂-productie via ademhaling.

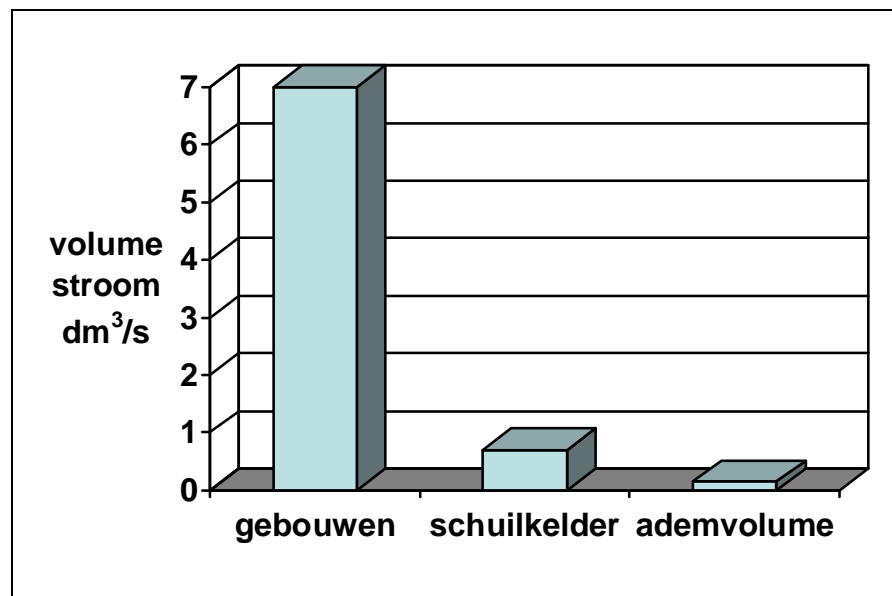
Planten

Reductie of reiniging van CO₂ in ruimten gebeurt zeker als er planten in die ruimten aanwezig zijn. Kamerplanten nemen overdag CO₂ uit de lucht op. Dit proces is afhankelijk van het lichtniveau. Meestal is dit volkomen verwaarloosbaar. Gaat men namelijk uit van 1 m² bladoppervlakte van planten en een hoge lichtintensiteit van 300 W/m² (ca 50.000 lux) dan nog is de opname minder dan 0,001 dm³/s.

6 Beschrijving van de eisen op het gebied van ventilatie

6.1 Algemeen

Om te leven heeft de mens zuurstof nodig. Via de ademhaling wordt de zuurstof in het bloed gebracht. Beschouwt men het ademhalingsvolume en de daarvoor benodigde ventilatie, dan kan men afleiden dat dit in de orde van grootte van 0,1 dm³/s ligt. Volumestromen voor ventilatie tussen 4 dm³/s en 10 dm³/s zijn redelijk normale waarden (zie Figuur 12). De volumestroom om via de ademhaling voldoende zuurstof te verkrijgen is dus veel lager dan de volumestromen die in voorschriften voor ventilatie worden geëist. Dit betekent zelfs dat als de ventilatie van gebouwen zeer slecht is, vrijwel nooit zuurstofgebrek kan optreden. Uitsluitend in volledig afgesloten ruimten met een hoge persoonsbezetting, zoals in een afgesloten zeecontainer met zeer veel mensen erin, zal op den duur na vele uren zuurstofgebrek kunnen ontstaan.



Figuur 12. Een vergelijking van de ventilatiestromen in normale gebouwen met die van schuilkelders en de ventilatiestroom die benodigd is voor het ademvolume

6.2 Historie

De eerste ventilatievoorschriften die in de literatuur zijn te vinden gaan terug naar het jaar 1631. In dat jaar eiste de King Charles van Engeland te openen ramen voor de ventilatie van gebouwen. De ventilatie-eis was dus niet uitgedrukt in een volumestroom maar in een bouwkundige uitvoeringsvoorziening. Het was een oplossingsgerichte eis en niet een prestatie-eis. In 1836 verscheen de eerste eis uitgedrukt in een volumestroom. Het Engelse parlement eiste toen een ventilatie volumestroom van 4 cfm of circa 2 dm³/s per persoon.

In Amerika werd in 1895 door de American Society of Ventilation Engineers (ASVE) een veel hogere stroom geëist, namelijk 15 dm³/s per persoon. Deze eis was gebaseerd

op het voorkomen van de verspreiding van besmettelijke ziekten [20]. Daarna zijn de voorschriften vooral gebaseerd op het werk van Pettenkofer en Yaglou.

In Nederland zijn de eerste voorschriften rond 1952 verschenen in de Bouwverordening. Daarvoor was er de eerste woningwet van 1901 waarin te openen ramen waren voorgeschreven. Reeds in 1853 rapporteerde het Koninklijk Instituut van Ingenieurs reeds aan de koning dat men aan woningen voor armen eisen moest stellen om ziekten en de verspreiding daarvan te voorkomen.

De eerste Nederlandse norm op het gebied van ventilatie betrof de ventilatie van woningen NEN 1087 [21] die in 1975 is verschenen. Op het moment van verschijnen van de NEN 1087 stonden er in de Model Bouwverordening van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten al wel eisen zoals te openen ramen met hun plaats en oppervlakte en het verloop en afmetingen van afvoerkanalen voor de keuken, het toilet en de badruimte. Uitgangspunt van NEN 1087 was een volumestroom van 25 m³/h of 7 dm³/s per persoon. Dit uitgangspunt is daarna onderwerp geweest van een advies, uitgebracht door een commissie van de Gezondheidsraad [22]. Deze commissie vond destijds dat 1.200 ppm en de daaruit voortvloeiende 25 m³/h of 7 dm³/s per persoon een minimumuitgangspunt was voor ventilatie van woningen. Zij raadde daarbij de overheid aan, actief te werken aan het beheersen van emissies uit bouw- en inrichtingmaterialen via een gericht bronbeleid. Voor het toetsen van de belasting van emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen raadde zij een minimum ventilatiestroom per ruimte van 5 m³/h of 1,4 dm³/s aan.

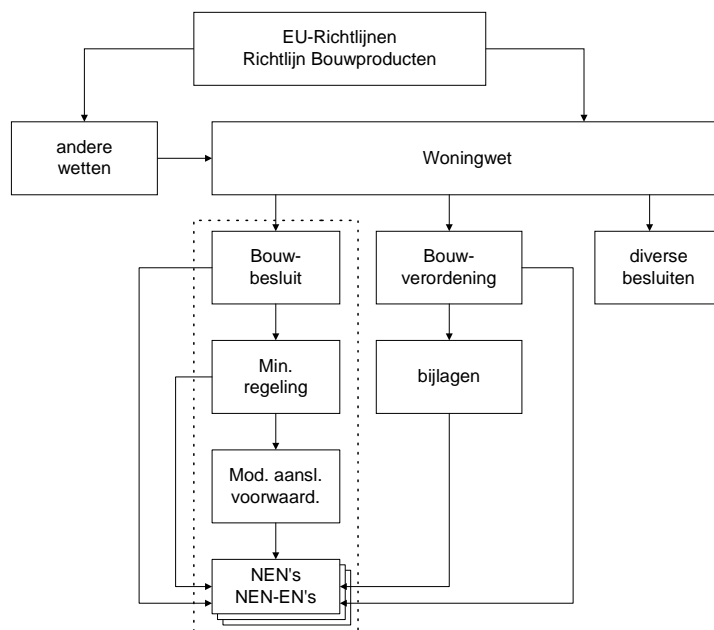
De Nederlandse eisen zijn dus wat betreft personen gebaseerd op geur van bio-effluenten die personen afscheiden. Voor ruimten zoals toilet, badkamer en keuken zijn andere uitgangspunten gekozen waarvan de belangrijkste zijn:

- Het afvoeren van vocht
- Het tegengaan van de verspreiding van verontreinigingen die in die ruimten vrijkomen zoals geur, gas, waterdamp naar andere ruimten.

6.3 Bouwbesluit

6.3.1 Algemeen

In het Bouwbesluit [23] zijn de eisen voor luchtverversing ondergebracht in het hoofdstuk “Voorschriften uit het oogpunt van gezondheid”. De relatie tussen Europese richtlijnen, wetgeving, bouwbesluit en normen is weergegeven in Figuur 13.



Figuur 13. Relatie tussen de verschillende voorschriften met betrekking tot ventilatie

De eisen voor luchtverversing (= ventilatie) zijn voor woningen afgeleid uit de eerste ventilatienorm NEN 1087 [21]. Alle technische eisen die de overheid aan gebouwen stelt, moeten in het Bouwbesluit staan. Het kostte de toenmalige normcommissie enige moeite om de eisen uit de NEN 1087 te schrappen en die norm alleen als “Bepalingmethode voor ventilatie van gebouwen” te laten voortbestaan. De capaciteitseisen zijn in het huidige Bouwbesluit geformuleerd in een volumestroom per m² vloeroppervlakte van het verblijfsgebied of de verblijfsruimte. De eisen voor alle andere gebouwen zijn eveneens geformuleerd in een volumestroom per m² vloeroppervlakte van het verblijfsgebied of de verblijfsruimte, maar zijn daarbij afhankelijk gemaakt van de bezettingsgraad.

6.3.2 Capaciteitseisen

6.3.2.1 Nieuwbouwwoningen

De capaciteitseisen voor nieuwbouwwoningen zijn weergegeven in Tabel 3. Dit is een gedeelte van tabel 3.46.1 van het Bouwbesluit.

Tabel 3. Luchtverversingeisen voor de gebruiksfunctie woongebouw volgens het Bouwbesluit (deel van tabel 3.46.1 van het Bouwbesluit)

Gebruiks- functie	Leden van toepassing										Grenswaarde			
	Aan- wezig- heid		Capaciteit								Capaciteit verblijfsgebied		Capaciteit verblijfsruimte	
Artikel	3.47		3.48								3.48			
Lid	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2			
										dm ³ /s per m ²	min. dm ³ /s	dm ³ /s per m ²	min. dm ³ /s	
1. woonfunctie														
a. woongebouw	1	2	1	2	3	4	5	-	7	0,9	7	0,7	7	
b. woonwagen	1	2	1	2	3	4	5	-	-	0,8	7	0,8	7	
c. andere	1	2	1	2	3	4	5	-	-	0,9	7	0,7	7	

Artikel 3.46 stuurartikel (Bouwbesluit)

Lid 1.

Een te bouwen bouwwerk heeft een zodanige voorziening voor luchtverversing van een verblijfsgebied, een verblijfsruimte, een toiletruimte en een badruimte, dat het ontstaan van een voor de gezondheid nadelige kwaliteit van de binnenlucht voldoende wordt beperkt.

Lid 2.

Voor zover voor een gebruiksfunctie in tabel 3.46.1 en tabel 3.46.2 voorschriften zijn aangewezen, wordt voor die gebruiksfunctie aan de in het eerste lid gestelde eis voldaan door toepassing van die voorschriften.

Lid 3.

Het eerste lid is niet van toepassing op de gebruiksfuncties waarvoor in tabel 3.46.1 en tabel 3.46.2 geen voorschrift is aangewezen.

Toelichting

Lid 1 omvat de functionele eis waarin in algemene termen wordt omschreven dat de invloed van de kwaliteit van de binnenlucht op de gezondheid voldoende wordt beperkt. Het zijn algemene bewoordingen die ook uit de onderbouwende stukken van het eerste normblad op het gebied van ventilatie in Nederland NEN 1087 "Ventilatie van woongebouwen zijn af te leiden" [24]. Dit normblad gaf eisen en bepalingmethoden alhoewel die strikte scheiding tussen beide grootheden toen nog niet zo duidelijk werd gemaakt.

De eisen voor woongebouwen zijn in 1984 door de Gezondheidsraad beoordeeld in het Advies aan de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne genaamd "Het binnenhuisklimaat, in het bijzonder het ventilatie minimum, in Nederlandse woningen" [22].

De tabellen 3.46.1 en 3.46.2 waarnaar in lid 2 wordt verwezen, zijn veel ruimer dan woningen (NEN 1087, 1975). Er worden allerlei gebruiksfuncties onderscheiden die veel verder gaan dan uitsluitend woningen. De basis daarvoor ligt in het TNO-rapport 94-BBI-R1537 "Bouwbesluit grenswaarden ventilatie" [25]. De achtergrond van de

eisen voor woningen zijn voornamelijk gebaseerd op verschillende TNO-onderzoeken uit de jaren 1970 – 1974.

Uitgangspunt is een eis van 25 m³/h per persoon in woon- en slaapvertrekken. Voor de natte ruimten zijn afvoerstromen geëist die rechtstreeks naar buiten moeten worden afgevoerd. Dit betreft:

- keuken
- badruimte
- toiletruimte.

De afvoerstromen zijn gebaseerd op afvoer van vocht en geur bij koken voor de keuken, de afvoer van vocht vanuit de badruimte en het beperken van geurverspreiding en mogelijk andere verontreinigingen uit de toiletruimte naar de woning.

De eisen gesteld aan de afvoer van natte ruimten rechtstreeks naar buiten:

- toiletruimte 7 dm³/s
- badruimte 14 dm³/s
- verblijfruimte met opstelplaats voor het kooktoestel (= keuken) 21 dm³/s.

6.3.2.2 *Utiliteit gebouwen*

Voor utiliteitsgebouwen worden de volgende gebouwfuncties onderscheiden:

- Woonfunctie
- Bijeenkomstfunctie
- Celfunctie
- Gezondheidszorgfunctie
- Industriefunctie
- Kantoorfunctie
- Logiesfunctie
- Onderwijsfunctie
- Sportfunctie
- Winkelfunctie
- Overige gebruiksfunctie.

Er zijn voor utiliteitsgebouwen 5 bezettingsgraadklassen geformuleerd:

bezettingsgraad in m² vloeroppervlakte aan verblijfsgebied per persoon

- B1 ≤ 1,3
- B2 > 1,3 - ≤ 3,3
- B3 > 3,3 - ≤ 8,0
- B4 > 8,0 - ≤ 20,0
- B5 > 20,0.

Afhankelijk van de bezettingsgraad kunnen per gebouwfunctie eisen worden gesteld.

Een voorbeeld van eisen voor de gebouwfunctie bijeenkomst gebouwen is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4. Luchtverversingseisen voor de gebouwfunctie bijeenkomst gebouwen (deel van tabel 3.46.1 van het Bouwbesluit)

Gebruiksfunctie	Capaciteit verblijfsgebied						Capaciteit verblijfsruimte					
	Artikel											
Lid	1						2					
	dm ³ /s per m ²					dm ³ /s	dm ³ /s per m ²					dm ³ /s
Bezettingsklasse	B1	B2	B3	B4	B5		B1	B2	B3	B4	B5	
Bijeenkomstfunctie												
Ruimte voor alcoholgebruik	4,8	4,8	4,8	n.t.	n.t.	7	3,8	3,8	3,8	n.t.	n.t.	7
Ruimte voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen	15	6	2,4	n.t.	n.t.	7	12	4,8	1,9	n.t.	n.t.	7
Ruimte voor het aanschouwen van sport	4,8	4,8	4,8	n.t.	n.t.	7	3,8	3,8	3,8	n.t.	n.t.	7

6.3.3 Inrichtingseisen

Tabel 3.46.2 van het Bouwbesluit betreft de zogenaamde inrichtingseisen. Deze eisen zijn nadere voorwaarden waaraan de ventilatie moet voldoen. De inrichtingseisen betreffen vier zaken:

- comfort
- richting van de stroming
- plaats van de opening
- luchtkwaliteit.

De capaciteitseisen van tabel 3.46.1 kunnen niet los worden gezien van de bepalingsmethoden uit NEN 1087 waarnaar in het Bouwbesluit wordt verwezen. Dit geldt in nog sterkere mate voor de uitvoeringseisen. In de bouwpraktijk wordt in dit verband wel gesproken over bepalingsmethoden die eigenlijk verkapte eisen inhouden.

De eisen in artikel 3.47 en artikel 3.48 betreffen respectievelijk de aanwezigheid en de capaciteit van de luchtverversing. Voor deze artikelen zijn geen specifieke onderbouwende documenten anders dan bij tabel 3.46.1 en 3.46.2 zijn aangegeven.

De eis met betrekking tot thermisch comfort (artikel 3.49) is op zichzelf eigenlijk vreemd. De overheid stelt geen eisen aan de temperatuur in gebouwen. Aangezien thermisch comfort altijd afhangt van tenminste de grootheden temperatuur en luchtsnelheid is er dus zuiver gesproken geen eis op thermisch comfort maar eigenlijk sprake van de maximale verstoring die de luchtverversing van een ruimte mag hebben op het thermisch comfort uitgedrukt in een maximale luchtsnelheid in de leefruimte van een verblijfsgebied of verblijfsruimte. De maximale luchtsnelheid is gebaseerd op onderzoek dat door de toenmalige IG-TNO afdeling Binnenklimaat in de klimaatproefkamer is uitgevoerd. Voor de rapportage, zie TNO-rapport C335, "Vergelijkend onderzoek naar de invloed van twee methoden voor luchttoevoer in gevels op het klimaat in woonruimten" [26].

De eis met betrekking tot regelbaarheid (artikel 3.50) wordt gesteld uit overwegingen van tocht en een te grote ventilatiestroom door luchttoevoercomponenten in gevels onder andere dan de nominale omstandigheden. De nominale omstandigheden waren in NEN 1087 (1975) gesteld op een windsnelheid van 2 m/s en een temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 10 K. Een bewoner moest in staat zijn om de toevoer continu te regelen. Bij de invoering van het Bouwbesluit bleek een eenduidige en reproduceerbare bepaling van continu regelen van ventilatie niet eenvoudig. Daarop is in overleg met VROM gekozen voor twee regelstanden tussen 0 en 15% van de capaciteit die onderling tenminste 10% verschillen.

De eis van de stromingsrichting (artikel 3.51) is wat betreft natuurlijke toevoeren gebaseerd op het feit dat de wind een overdruk (van tenminste 1Pa) zou kunnen veroorzaken op de gevel of uitwendige scheidingsconstructie waarin zich de luchttoevoercomponent bevindt. Hiervoor is algemeen in de literatuur beschikbare kennis gebruikt. Wat betreft de afvoer zijn ze gebaseerd op TNO-onderzoek gerapporteerd in TNO-rapport C326, "Drie onderzoeken naar de werking van ventilatie kanalen, plaats en hoogte, vorm van de uitmonding en invloed van de omgeving"[27].

De eis met betrekking tot de plaats van de opening (artikel 3.52) is gebaseerd op de verdunning die tussen afvoeren en een toevoer van ventilatie kan ontstaan. De basis daarvoor zijn verschillende onderzoeken. Enkele TNO-windtunnelonderzoeken liggen hieraan ten grondslag. De belangrijkste studie is van VEG gasinstituut "Verspreiding van verbrandingsgassen uit een geveluitmonding" [28]. Helaas is nooit een onderbouwende studie hiervoor uitgevoerd. De verdunningsfactoren zijn arbitrair gekozen grootheden.

De eis met betrekking tot de kwaliteit van de lucht (artikel 3.53) is gebaseerd op verschillende onderzoeken met betrekking tot afvoer (zie ook de onderbouwende tekst bij artikel 3.51). De 50% regel voor woningen (artikel 3.53 lid 1) is gebaseerd op het feit dat personen in een woning niet tegelijkertijd in de slaapkamer en in de woonkamer kunnen zijn. Daarom moet elk verblijfsgebied afzonderlijk kunnen functioneren. Het grootste verblijfsgebied bepaalt daarmee de afvoercapaciteit van de luchtverversing in woningen.

6.4 De Europese norm EN 15152

De Europese norm waarin in de bijlage richtlijnen voor de ventilatie zijn opgenomen betreft NEN 15152 [29]. Europese normen mogen niet in strijd zijn met wettelijke eisen in een Europees land. De hierna beschreven ventilatierichtlijnen zijn daarom in een bijlage van de norm opgenomen. Er worden vier klassen onderscheiden.

Tabel 5. Klassen voor ventilatie gebruikt in de Europese norm EN 15251

category	CO ₂ above outdoors in ppm	expected percentage dissatisfied [%]	air flow per person [dm ³ /s]
I	350	15	10
II	500	20	7
III	800	30	4
IV	>800	>30	< 4

Als voorbeeld is in Tabel 6 de tabel weergegeven die in de EN 15121 tabel B.3 wordt genoemd. Het is duidelijk dat hier het werk van Fanger en Olesen zichtbaar wordt.

Tabel 6. Een voorbeeld van aanbevolen eisen in klassen voor utiliteitsgebouwen

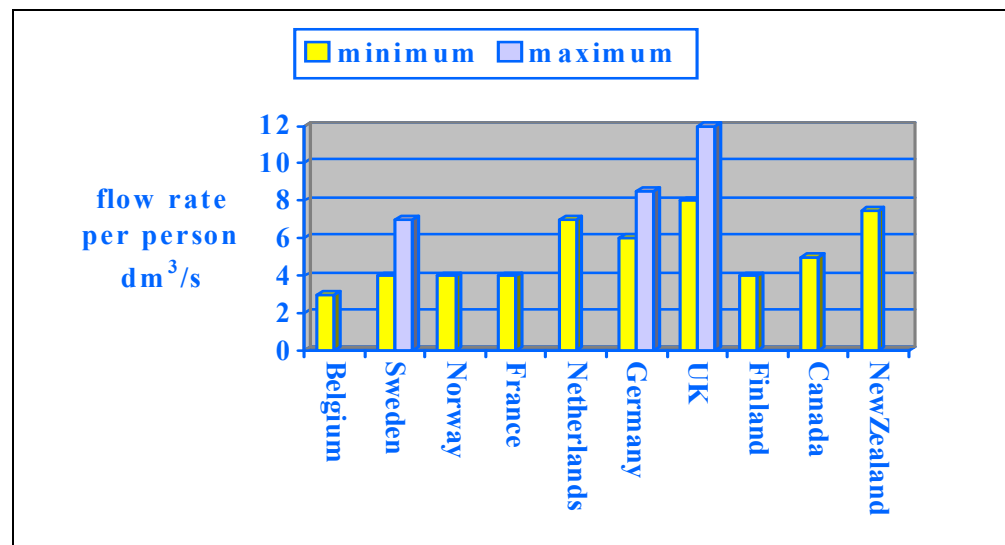
Table B.3 — Examples of recommended ventilation rates for non-residential buildings for three categories of pollution from building itself. Rates are given per person or per m² floor area

Category	Airflow per person l/s/pers	Airflow for building emissions pollutions (l/s/m ²)		
		Very low polluting building	Low polluting building	Non low polluting building
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

6.5 Vergelijking van normen en richtlijnen voor ventilatie van verschillende landen

6.5.1 Woningen of woongebouwen

In Figuur 14 is een overzicht gegeven van de eisen voor woningen in verschillende landen.

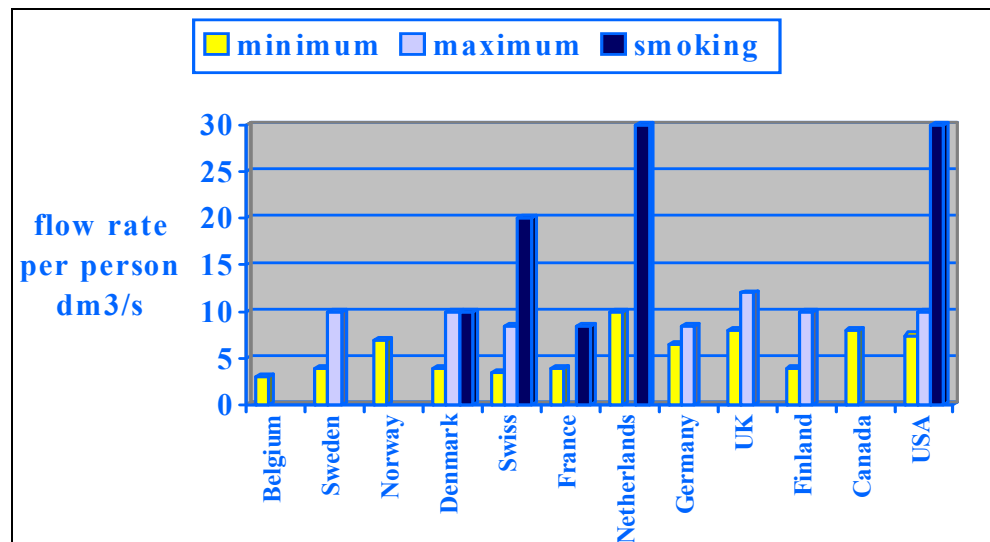


Figuur 14. Minimale en maximale ventilatie-eisen voor woningen in verschillende landen [30][31]

Opvallend is dat de minimeisen die in het Bouwbesluit worden gesteld aan de hoge kant liggen ten opzichte van andere landen. De eisen in Engeland steken er duidelijk naar boven toe uit. In de praktijk wordt in Engeland echter voor natuurlijke ventilatie in de regelgeving per kamer 40 cm² aan opening vereist, terwijl dat in Nederland tenminste 70 cm² zou moeten zijn.

6.5.2 Kantoren

Een overzicht voor ventilatie-eisen in kantoren is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15. Overzicht van ventilatie-eisen en aanbevelingen in kantoren [30][31]

7 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek kunnen op hoofdlijnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Vrijwel alle ventilatie-eisen zijn gebaseerd op onderzoek uit de 19^e eeuw.
- Vrijwel alle onderzoeken die aan de ventilatie-eisen ten grondslag liggen, zijn gebaseerd op het ervaren van geuren, geproduceerd door menselijke, aerosole afscheidingsproducten.
- De voor de ventilatie van ruimten bepalende afscheidingsproducten van mensen komen voornamelijk:
 - van bacteriën op de huid
 - door zweetverdamping
 - uit de mond via de ademhaling.
- Er blijkt een groot verschil in geurhinder voor personen die in een ruimte verblijven en personen die diezelfde ruimte bezoeken. Dit wijst sterk in de richting van adaptatie van geuren.
- Kooldioxide als indicator voor de luchtkwaliteit in ruimten is uitsluitend bruikbaar als:
 - alle andere vermijdbare bronnen, zoals emissies van bouw en inrichtingmaterialen effectief worden teruggedrongen;
 - andere bronnen van kooldioxide zoals verbrandingstoestellen geen rol van betekenis spelen;
 - andere grootheden zoals vocht en temperatuur niet bepalend zijn voor de ventilatie.
- De CO₂ verontreinigingsproductie door personen is evenredig met het metabolisme (stofwisseling, inspanningsniveau) van personen. Dit kan sterk variëren: van 0,8 MET in rust, 1,5 MET bij licht werk, 3 MET bij wandelen tot bijna 10 MET bij traplopen en sporten.
- Het metabolisme is evenredig met de massa (het gewicht) van personen. Voor kinderen is het metabolisme daardoor kleiner, maar die hebben vaak een hoger inspanningsniveau.
- De voor de ademhaling van personen benodigde hoeveelheid ventilatie ligt ten minste een factor 20 lager dan de eisen in de voorschriften. Van zuurstofgebrek zal daarom in normale gebouwen geen sprake kunnen zijn.
- Er zijn grote verschillen tussen de ventilatie-eisen in landen in Europa maar ook Noord-Amerika. De onderlinge verschillen bedragen, als roken als bron buiten beschouwing wordt gelaten, ruwweg een factor 4. De reden voor de verschillen in eisen moet vooral gezocht worden in het percentage gehinderde dat per land acceptabel wordt geacht, maar ook in de relatief beperkte basis en onderbouwing van de eisen.

- Er is in dit onderzoek geen literatuur gevonden waaruit zou blijken dat door toepassing van geurmaskering de ventilatiestromen in gebouwen zouden kunnen worden verlaagd.

Om meer inzicht te krijgen in het minimaal benodigde ventilatieniveau en het eventueel maskeren van geuren, is nader onderzoek noodzakelijk naar:

- het effect van bio-effluenten op de mens opdat de ventilatie-eisen een betere basis krijgen;
- het effect van geuren op de perceptie van mensen waarbij met name de invloed van de temperatuur onderzocht dient te worden.

8 Literatuur

- [1] Senter NOVEM
Modelprojectplan EOS: Lange Termijn onderzoeksprojecten
Duurzame projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen, renoveren en
wonen na 2015
Sittard, september 2005
- [2] Gids, W.F. de
Een onderzoek naar de effecten en gevolgen van ventilatie
TNO-rapport 060-DTM-2011-00612
Delft, juli 2010
- [3] Pettenkofer, M.S. von
Über den Luftwechsel in Wohngebäuden.
Cottasche Buchhandlung
München 1858
- [4] Yaglou, C.P. a.o
Ventilation Requirements
ASHVE Transactions Volume 42,
Chicago, 1936.
- [5] Yaglou, C.P. and W.N. Witheridge
Ventilation Requirements part 2
ASHVE transactions Volume 42
Massachusetts, 1937
- [6] Bouwman, H.B.
Minimum ventilation rates
Report C 470E
IMG-TNO
Delft, januari 1983
- [7] Fanger, P.O.
Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by
humans indoors and outdoors.
Energy in Buildings, 1988
- [8] Bluysen, P.M.
Air quality evaluated by a training panel
Dissertation
Technical University of Denmark
Lyngby, oktober 1990
- [9] Fanger, P.O., Berg-Munch, B.
Ventilation and body odor
Proceedings of Engineering Foundation Conference on Management of
Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces,
Atlanta, GA, ASHRAE, pp. 45-50 (1983)

- [10] Olesen, B.W.
International standards for the indoor environment
Indoor Air, 2004
- [11] Cain, W.S. a.o
Ventilation requirements in buildings
Atmospheric Environment, 1183, 1983
- [12] Macl. Pierce, W.
Thesis: Odors and odor control
Harvard School of Public Health
January 1935.
- [13] James, W; a.o
Andrews' Diseases of the Skin
Clinical Dermatology, 2005
- [14] Cheng and Russell.
Mammalian Wax Biosynthesis II:
Journal of Biological Chemistry. September 2004
- [15] ASHRAE Fundamentals
American Society for Heating and Refrigerating Engineers 1977
- [16] Documenta Geigy
Wissenschaftliche Tabellen
Thieme Verlag, Stuttgart , 1975
- [17] Bouwman, H.B. en P.E. Joosting
Het verband tussen de CO₂ afgifte van de mens, en het metabolisme en enkele
andere parameters.
IMG-TNO Rapport C 457,
Delft, juli 1980
- [18] Vermeulen, A.
CO₂ concentraties in de buitenlucht in Nederland
ECN Petten, 2008
- [19] Basisgegevens aardgassen
Gasunie
Groningen, 1980
- [20] Gids, W.F. de
Ventilation Requirements
Historical overview and Background
AIVC conference, Kyoto 2008
- [21] NEN 1087 Ventilatie van woongebouwen. Eisen
Nederlands Normalisatie Instituut
Rijswijk 1975

- [22] Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen
Gezondheidsraad
's Gravenhage, januari 1984
- [23] Bouwbesluit 2003
Inclusief wijzigingen uit Staatsblad 2009 400 in werking januari 2010
Staatscourant
's Gravenhage 2003
- [24] NEN 1087 Ventilatie van gebouwen, Bepalingsmethode voor de nieuwbouw
Nederlands Normalisatie Instituut
Delft, 2003
- [25] Gids, W.F. de en N.P.M. Scholten
Bouwbesluit grenswaarden ventilatie
TNO rapport 94- BBI-R1537''
Delft, januari 1995
- [26] Gids. W.F. de
Vergelijkend onderzoek naar de invloed van twee methoden voor luchttoevoer in gevels op het klimaat in woonruimten.
IG-TNO C335
Delft, 1974
- [27] Gids. W.F. de
Drie onderzoeken naar de werking van ventilatie kanalen, plaats en hoogte, vorm van de uitmonding en invloed van de omgeving
IG-TNO C326
Delft, 1974
- [28] VEG Gas Instituut
Verspreiding van verbrandingsgassen uit een geveluitmonding
Apeldoorn, 1980
- [29] EN 15152
Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
CEN Brussel, Mei 2007
- [30] Technical Note 43 AIVC
Ventilation and Building and Airtightness:
An International Comparison of Standards, Codes of Practice and Regulations
AIVC
Coventry 1994
- [31] Technical Note 44 AIVC
An Analysis and Data Summary of the AIVC's Numerical Database
AIVC
Coventry 1994

9 Ondertekening

Delft, februari 2011

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'W' followed by a horizontal line and a small flourish.

Ing. W.F. de Gids
Auteur

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a horizontal line and a small flourish.

Ir. A.C. van Tol
Research Manager
Energy, Comfort & Indoor Quality