

Onderzoek naar de toelaatbare 'minimum verseluchttoevoer per persoon' in gebouwen.*)

Ir H. B. Bouwman

In gevolge een opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening aan ISSO in het kader van de Stuurgroep Energie en Gebouwen is een onderzoek 'Normen minimum verse luchttoevoer' uitgevoerd.

Dit artikel is een samenvatting van het ten behoeve van genoemd onderzoek door IMG-TNO aan ISSO uitgebrachte rapport getiteld: Onderzoek naar de toelaatbare minimum verse luchttoevoer per persoon in gebouwen.

Samenvatting met conclusies

Als de hoeveelheid ventilatielucht per persoon zou kunnen worden verkleind, is minder energie nodig voor het verwarmen (of koelen) van de lucht. Onderzocht is welke minimum verseluchttoevoer per persoon nodig is om niet meer acceptabele geurhinder door onfris ruiken van de lucht in kantoren en daarmee vergelijkbare gebouwen te voorkomen.

Het onderzoek werd zoveel mogelijk onder praktijkomstandigheden verricht in verschillende gebouwen en verschillende vertrekken van uiteenlopende grootten met verschillende bezettingsdichtheden, met heren of dames en heren, en met mechanische of natuurlijke ventilatie.

Bepaald werden de luchttoevoer aan het vertrek, de bezettingsdichtheid, het CO₂-concentratieverloop, bij het roken het aantal brandende sigaretten, de geurconcentratie (een objectief gegeven) en — door middel van enquêtes — de mate van geurhinder (een subjectief gegeven) ondervonden door bewoners en bezoekers.

De analyse van de statistisch verwerkte gegevens leidde tot de volgende conclusies:

- 1 Om onder de bewoners niet meer dan 5% (resp. 1%) klachten 'geur niet (meer) acceptabel' te krijgen zou de minimum verseluchttoevoer op 35 (resp. bijna 50) m³/h per persoon moeten worden gesteld, hetgeen in orde van grootte overeenkomt met de tot voor kort gevolgde praktijk.
- 2 Welk percentage klachten 'geur niet (meer) acceptabel' nog getolereerd zou kunnen worden kan alleen in onderling overleg tussen vertegenwoordigers van belanghebbenden en binnenmilieudeskundigen worden vastgesteld. Het maken van zo'n afspraak lijkt alleen verantwoord indien ondersteund door een daarop gericht onderzoek.
- 3 Bij herhaling van het onderzoek in dezelfde omvang met andere personen en situaties zullen bij dezelfde klachtenpercentages zowel duidelijk hogere als lagere waarden voor de minimum verseluchttoevoer kunnen worden gevonden.
- 4 Gezien de uitkomsten en de nog bestaande onzekerheid wordt het verminderen van de minimum verseluchttoevoer in kantoren en vergelijkbare gebouwen tot ca 25 m³/h per persoon (als middel om energie te besparen) met het oog op het daarbij te verwachten aantal geurhinderklachten niet verantwoord geacht.

Summary and conclusions

If the rate of ventilation per person could be reduced, less energy would be required for the heating (or cooling) of the fresh air. It is investigating what minimum fresh air supply per person is required to prevent unacceptable odour annoyance owing to unfresh smells in offices and comparable buildings. The investigation was carried out under nearly actual conditions in different buildings and different rooms of different sizes with different occupation densities, with gentlemen or ladies and gentlemen, and with mechanical or natural ventilation.

occupation density, the course of the carbon dioxide concentration, and, if people smoked, the number of lighted cigarettes, the odour concentration (an objective datum) and — by means of enquiries — the extent of odour annoyance (a subjective datum) experienced by occupants and visitors were determined.

Statistical analysis of the data led to the following conclusions:

- 1 To get from the occupants less than 5% (1%, respectively) complaints of 'odour not (no longer) acceptable', the minimum fresh air supply would have to be 35 (nearly 50, respectively) m³/h per person, which agrees with the

order of magnitude used in practice until recently.

- 2 What percentage of complaints of 'odour not (no longer) acceptable' might still be tolerated can only be determined by common agreement between representatives of interested parties and indoor environment experts. Such an agreement seems only justified if it is supported by an investigation with this specific aim.
- 3 When repeating the investigation in the same extent with other persons and situations, at the same percentages of complaints, higher and lower values for the minimum fresh air supply may be found.
- 4 In view of the results and the existing uncertainties, a reduction of the minimum fresh air supply in offices and comparable buildings to about 25 m³/h per person (as a means of energy conservation) is not considered justified because of the number of odour annoyance complaints to be expected.

1 Inleiding

Het doel van het onderzoek was om na te gaan of het verantwoord zou kunnen zijn de minimum verseluchttoevoer te beperken, bijv. tot 25 m³/h per persoon, ten einde te besparen op het energieverbruik dat nodig is voor het verwarmen of koelen van de verse buitenlucht die voor de ventilatie nodig is.

Verseluchttoevoer aan (en luchtafvoer uit) een vertrek waar mensen verblijven kan om verschillende redenen nodig zijn, namelijk om:

- (1) een zuurstoftekort te voorkomen
- (2) een te hoog oplopen van het CO₂-gehalte als gevolg van de uitgedemde CO₂ van de aanwezigen tegen te gaan
- (3) het gehalte aan hinderlijke en/of schadelijke stoffen uit bouwmaterialen binnen toelaatbare grenzen te houden
- (4) een te hoge graad van geurhinder te voorkomen
- (5) de gewenste temperatuur, relatieve vochtigheid en luchtbeweging te handhaven

Als aan (5) voldaan wordt, is nog niet altijd aan (3) voldaan. Voldoet de ventilatie aan (3) dan is meestal ook aan (2) voldaan. Als aan (2) voldaan is, kan (1) buiten beschouwing blijven.

Onder (4) is het aspect genoemd dat het criterium was bij het onderhavige onderzoek: de minimum verseluchttoevoer na-

The air supply to the room, the

*) Publicatie nr 811 van het IMG-TNO te Delft

dig om geurhinder te voorkomen.

Deze hinder kan zijn oorsprong vinden in stoffen afkomstig van:

- bouwmaterialen, zoals hout, verf, lijm, isolatie,
- meubilering en stoffering,
- kantoormaterialen en
- personen: cosmetica, een bepaald voedingspatroon, beperkte persoonlijke hygiëne, oververmoeidheid, ziekte e.d.

Naarmate minder verse lucht wordt toegevoerd worden de geuren minder snel afgevoerd en loopt in het vertrek ook het gehalte aan CO_2 afkomstig van de aanwezigen hoger op.

De hoogte van het CO_2 -gehalte in de vertrekklucht boven dat in de buitenlucht wordt ΔCO_2 genoemd. De ΔCO_2 -waarde die zich in een vertrek instelt kan dus als maat worden gezien voor de mate waarin de toegevoerde verse lucht door de aanwezigheid van mensen werd 'belast'. De CO_2 zelf veroorzaakt in de toelaatbare concentraties geen geur of andere hinder.

Het antwoord op de vraag de luchttoevoer te bepalen waarbij nog geen ontoelaatbare geurhinder optreedt is daardoor voor een belangrijk deel beantwoord als men weet bij welk ΔCO_2 -gehalte meestal nog geen ontoelaatbare geurhinder optreedt.

Om de gedachten te bepalen worden twee waarden genoemd:

In een normaal geventileerde ruimte komt de ΔCO_2 niet vaak boven 0,07 à 0,1%.



Figuur 6 Het forum voor de bepaling van de geurconcentratie betreedt de snuifkar bij een der gebouwen

Dat is 700 à 1000 delen per miljoen, ook wel geschreven 700 à 1000. 10^{-6} of 700 à 1000 ppm ('parts per million').

2 Geurconcentratie en geurhinder

2.1 Geurconcentratie

Geur is moeilijk of niet met behulp van instrumenten vast te stellen. De menselijke neus is als detector vaak wel bruikbaar. Wanneer men een sterke geur in de lucht bespeurt dan kan men deze geur ook nog waarnemen als men de geurbevattende lucht een aantal malen verdunt met geurvrije lucht.

Men kan de geurbevattende lucht met behulp van apparatuur in instelbare mate verdunnen met geurvrije lucht, vervolgens dit mengsel aanbieden aan een aantal — bijv. aan een forum van acht — personen en vragen of zij de geurbevattende lucht nog kunnen onderscheiden van geurvrije lucht. Daarbij worden ook verdunningen ingesteld waarbij meer dan 50% van de personen de geur niet meer waarnemen. Men kan dan uit het gehele pakket waarnemingen berekenen bij welke verdunning juist 50% van de mensen de geur in de verdunde geurlucht nog zou waarnemen. De daarbij behorende verdunningsfactor (een getal zeer zelden kleiner dan 1) wordt per definitie de geurconcentratie genoemd. In het onderhavige onderzoek is het boven-beschreven verdunningsprincipe gebruikt om in een luchtmonster, afgezogen uit de proefvertrekken, de geurconcentratie te meten. Deze metingen zijn uitgevoerd met een zogenaamde 'snuifkar'. Zie figuur 6. Het werken hiermee is meer gedetailleerd beschreven in het rapport.

Om de gedachten te bepalen noemen wij enige getallen. In vertrekken waar niet gerookt wordt ligt de geurconcentratie bij matige ventilatie in de orde van 10. Wordt er flink gerookt dan ligt de geurconcentratie in de orde van 100. In de nabijheid van stankverwekkende industriën komen in de open lucht concentraties in de orde van 10 tot 100 of zelfs 1000 voor.

2.2 Geursterkte, geurhinder en geuracceptatie

Verschillende geuren, aangeboden in dezelfde concentratie, kunnen zeer verschillend worden ervaren. Dit hangt behalve van de grootte van de concentratie ook af van de aard van de geur. Zo kan parfum bij een lage concentratie als aangenaam worden ervaren, maar bij een hoge concentratie ondragelijk.

Daarentegen is een rotte-eierlucht bij alle concentraties onaangenaam. De geursterkte die men ervaart, geurin-

GEUR(HINDER)SCHAAL

5. Afkeerwekkend, misselijk makend, e.d.
4. Verwerpelijk, veel te sterk
3. Niet meer acceptabel
2. Nog juist acceptabel
1. Duidelijk waarneembaar, maar niet hinderlijk
- $\frac{1}{2}$. Juist waarneembaar
0. Niet waarneembaar

Figuur 1 De gebruikte geur(hinder)schaal

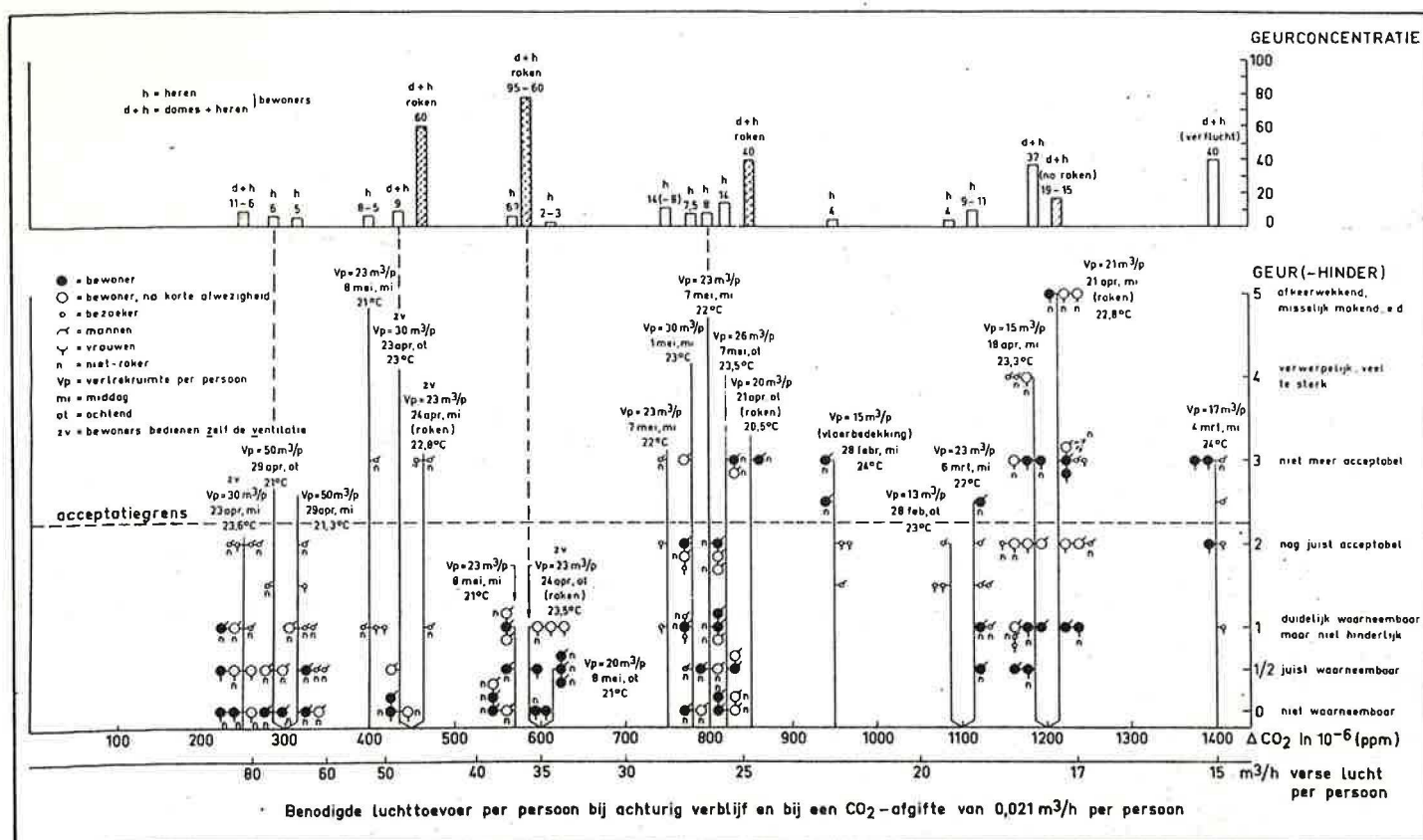
tensiteit genoemd, neemt af bij verdunning van een geurlucht, maar bij de ene geur veel sneller dan bij een andere geur. Een gemeten geurconcentratie zegt dus nog niet alles over de mate van sterkte geurhinder die optreedt.

Bij het onderhavige onderzoek ging het vooral om de vraag waar de grens ligt tussen acceptatie en niet-acceptatie van een geur in een kantoor of vergelijkbaar gebouw.

Om de mate van geurhinder en de mate van geuracceptatie vast te stellen zijn in dit onderzoek proefpersonen hierover geënquêteerd. Aan hen werd gevraagd, aan de hand van de schaal in figuur 1, de mate van geurhinder en geuracceptatie te beoordelen. De proefpersonen waren medewerkers, woners en bezoekers. Onder een bewaakte omstandigheid werd iemand die reeds geruime tijd (bijv. ten minste een uur) ononderbroken in het vertrek was. Een bezoeker in daarentegen iemand die pas zeer kort, 2 minuten, in het vertrek was, en daar niet kort van tevoren eerder was geweest.

3 Opzet van het onderzoek

In een aantal gebouwen is in een aantal vertrekken de grootte van de bezetting gevarieerd. De bezetting van de ruimten bestond of uit heren, of uit een gemiddelde bezetting waarin de dames goed vertegenwoordigd waren. Een deel van de vertrekken werd mechanisch geventileerd, overige vertrekken waren op natuurlijke wijze geventileerd. De ventilatie werd verschillende waarden ingesteld. In de vertrekken werd de luchttoevoer op twee verschillende manieren gemeten: wel met de helium-tracergasmethode met de methode van de CO_2 -afgifte van de aanwezigen. Het CO_2 -gehalte werd gemeten zowel in het vertrek als in de buitenlucht. Da



Figuur 2 De geurconcentratie en de individuele geurhinderrespons, uitgezet tegen ΔCO_2 en tegen het aantal m³/h verse lucht per persoon

door is ook de ΔCO_2 -waarde als verschil van de genoemde twee concentraties bekend.

De geurconcentratie in het vertrek werd gemeten met behulp van een 'snuifkar'. De mate van geuracceptatie werd bepaald door het enquêteren van de bezoekers en de bewoners van het vertrek. De bewoners werden meestal tweemaal kort na elkaar geënquêteerd: de eerste maal op een moment waarop zij reeds geruime tijd achtereen in het vertrek hadden vertoefd en de tweede maal bij terugkomst in het vertrek nadat zij dit op verzoek gedurende 1 à 2 minuten hadden verlaten.

4 Verwerking van de gegevens

De antwoorden verkregen uit de geurhinderenquête zijn verzameld in het onderste deel van figuur 2. Elk antwoord is aangegeven door een symbool. De plaats van elk antwoordsymbool wordt bepaald door twee coördinaten:

- horizontaal de ΔCO_2 -waarde in het vertrek tijdens de enquête
- verticaal de ervaren geurhinder overeenkomstig de schaal rechts in de figuur.

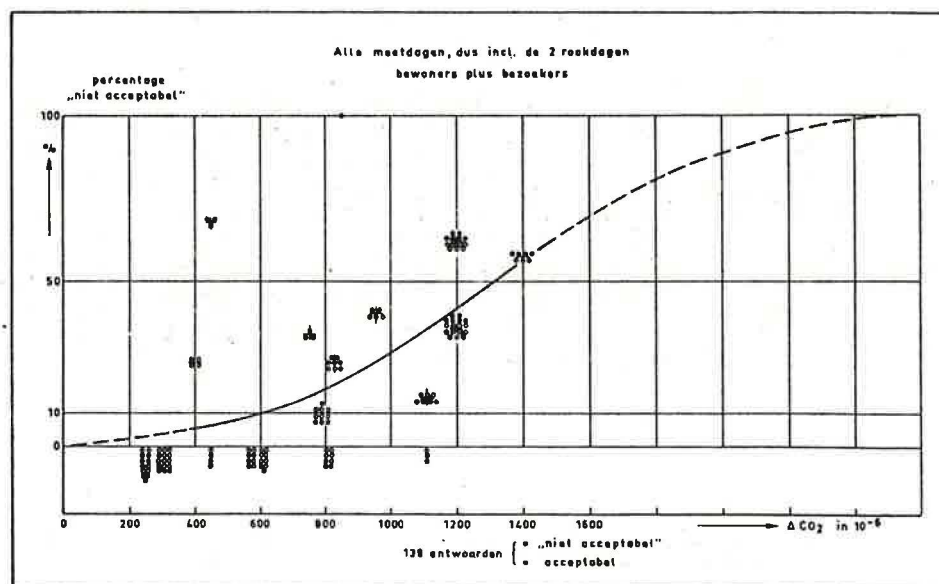
Zoals reeds eerder werd opgemerkt kan de ΔCO_2 -waarde als maat voor de belasting van de lucht worden beschouwd.

Aan de vorm van de symbolen kan men zien of de antwoorden afkomstig zijn van bewoners of bezoekers, mannen of vrouwen, rokers of niet-rokers. Antwoorden uit één proef zijn verbonden aan één verticale lijn. Wat opvalt zijn de grote individuele verschillen in de antwoorden. In één situatie treft men naast 'geur niet waarneembaar' ook 'geur niet meer ac-

ceptabel' aan.

In de figuur komen ook gegevens voor die nadere informatie geven.

De antwoorden worden door de acceptatiegrens verdeeld in twee groepen: 'niet acceptabel' resp. 'wel acceptabel'. Daaruit volgt bij elke ΔCO_2 -waarde waarbij geënquêteerd werd een percentage 'niet acceptabel'.



Figuur 3 Dosis-responsrelatie: percentage 'niet-acceptabel' uitgezet tegen ΔCO_2 voor bewoners en bezoekers op alle meetdagen, dus inclusief de twee rookdagen

Met behulp van een computer is een (zogenoemde 'probit')-curve berekend die op grond van bepaalde criteria zo goed mogelijk het verband aangeeft tussen het percentage 'niet acceptabel' en de ΔCO_2 -waarde.

Dit houdt onder andere in dat rekening is gehouden met het aantal waarnemingen waarop de percentages berusten. De curve is S-vormig, zoals figuur 3 laat zien. In deze figuur zijn de antwoorden 'wel acceptabel' en 'niet acceptabel' van bewoners en bezoekers uit alle proeven samengebracht.

De antwoorden en de kromme zijn ook ingetekend in een diagram met een zogenaamde waarschijnlijkheidsverdeling langs de verticale as. De S-kromme van figuur 3 gaat dan over in de rechte lijn in figuur 4. Dergelijke diagrammen kunnen ook worden berekend en getekend voor de bewoners alleen en de bezoekers alleen (figuren in het volledige rapport).

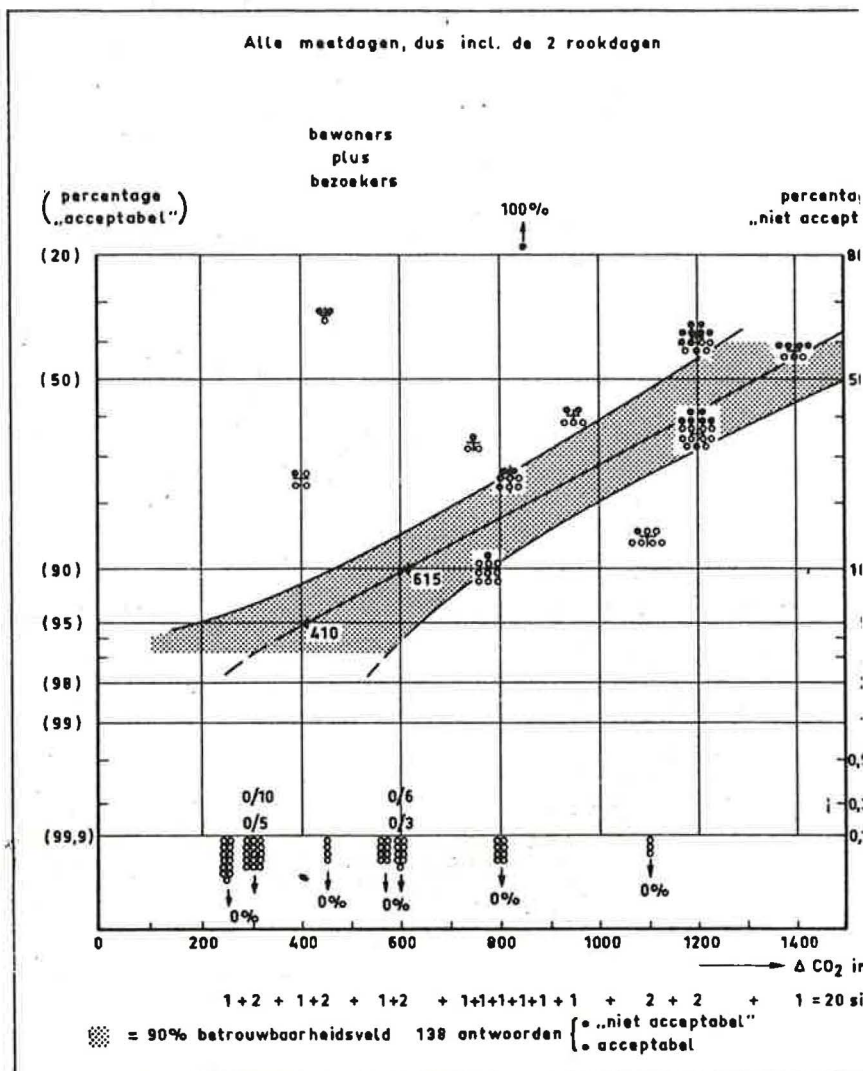
Wanneer men de antwoorden verkregen op de twee rookdagen weglaat, kan men wederom drie figuren berekenen en tekenen, waarvan hier alleen figuur 5 voor de bewoners is opgenomen.

5 Beschouwing van de resultaten

Uit figuur 5 blijkt dat, indien men bij niet roken een gemiddelde respons met een percentage van niet meer dan 5% 'niet-acceptabel' onder de bewoners nog wil tolereren, de ΔCO_2 -waarde niet hoger gekozen moet worden dan $625 \cdot 10^{-6}$. Daarbij behoort bij een CO_2 -afgifte van 21 à 23 dm^3/h per persoon een minimum verseluchttoevoer van 33,6 à 36,8 = circa 35 m^3/h per persoon. In het ISSO rapport wordt nagegaan welke betrouwbaarheid aan dit soort getallen moet worden toegekend. Verder heeft dit percentage 'niet-acceptabel' dat men nog kan tolereren invloed op de minimum verseluchttoevoer per persoon.

In vertrekken met veel ruimte, d.w.z. in de orde van grootte van meer dan 50 m^3 per persoon, wordt de genoemde ΔCO_2 -waarde van $625 \cdot 10^{-6}$ bij korte verblijftijden, d.w.z. in de orde van 1 à 2 uur, nog niet bereikt; in deze gevallen van korte verblijfsduur kan bij een luchtkubus van ca. 50 m^3 per persoon een verseluchttoevoer van 25 m^3/h per persoon voor 95% van de 'bewoners' acceptabel blijken.

Hier wordt er — mogelijk ten overvloede — nog eens op gewezen dat men energiebesparing op de ventilatie ook kan bereiken door toepassing van warmteterugwinning uit de afvoerlucht (en eventuele toepassing van de recirculatie van de lucht



Figuur 4 Dosis-responsrelatie: percentage 'niet-acceptabel' uitgezet tegen ΔCO_2 in een diagram met waarschijnlijkheidsverdeling langs de verticale as. Bewoners en bezoekers op alle meetdagen

over actieve kool).

Maar ook dan is het van belang inzicht te hebben in de grootte van de minimum verseluchttoevoer.

Conclusies

Hiervoor wordt verwezen naar de samenvatting aan het begin van het artikel.

Naschrift

Aan het onderzoek hebben medegewerkt: Het Zuiveringsschap 'Veluwe' te Apeldoorn, door beschikbaarstelling van het gebouw en royale hulp van de Technische Dienst.

Instanties en medewerkers in het gebouw-complex TNO Zuidpolder te Delft. De circa vijftientig personen die in de verschillende proefvertrekken hun normale werk deden en direct bereid waren daarbij tegelijk als proefpersonen te fungeren. De Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie (MT-) TNO, Afdeling Fysische en

Chemische Technologie te Apeldoorn voor de geurconcentratie metingen. Roos (met behulp van een forum van de medewerkers van uitzendbureau). Het instituut TNO voor Wiskunde, Statistiek en Informatica (WIS) te Den Haag:

- vv (CO_2) berekeningen: mw H. J. Defize
- statistiek: ir P. R. Defize
- Het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek (IMG-) TNO te Delft:
- Arts in algemene dienst ter ondersteuning van Milieu-onderzoek: P. Joosting,
- Sectie Sociale Wetenschappen: Y. Groeneveld en drs A. L. P. van der Grinten,
- Afdeling Binnenlucht: voor de metingen: J. van der Tuin en A. L. Moons,
- Afdeling Geluid, Licht en Binnenlucht: L. L. van den Akker, ing. W. R. van den Berg, ir H. B. F. van der Grinten, ing. W. F. de Gids, ing.

Keyb
syste
gelini
ventil
sing.
Dat w
indivi

1. Zc
ee
ge
kri
2. De
vo
me
vijf
vol

Deze
voor k
Echte
seerd
verder

