

Invloed van de plaats van luchttoe- en afvoeropeningen op het comfort in personenauto's



Dr. ir. J. van der Kooi,

Ing. J.W. Wan.*

Influence of the position of air supply- and exhaust openings on the comfort in passengers vehicles

Samenvatting

Met het stromingsprogramma PHOENICS zijn de luchtstroming en verontreinigingsconcentratie in een personenauto berekend. Verschillende plaatsen voor de luchttoe- en afvoeropeningen zijn onderzocht en de snelheid-, temperatuur- en concentratieverdelingen zijn vergeleken. Uit deze resultaten zijn de beste oplossingen geselecteerd om het comfortabelste binnenklimaat te verkrijgen met betrekking tot temperatuur en verontreinigingsconcentratie. De kans op condensatie tegen de ruiten werd eveneens beschouwd.

Summary

With the air flow program PHOENICS the air flow and contaminant concentration has been calculated in a passengers vehicle. Several positions of air supply and exhaust openings were examined and the velocity, temperature and concentration fields were compared. From these results the best solutions were selected in order to find the most comfortable indoor climate with respect to temperature and contaminant concentration. The risk of condensation on the windows was also considered.

Inleiding

De laatste jaren is veel onderzoek verricht naar verbetering van het comfort in personenauto's. Speciaal wordt hierbij aandacht besteed aan het tochtvrij toevoeren van de toevoerlucht en het ontdooien en condensvrijhouden van de ramen. Hierbij worden speciaal ontwikkelde regelsystemen toegepast om het comfort in het passagierscompartiment te verbeteren, soms in combinatie met airconditioning [1-5]. In alle gevallen vindt de luchttoevoer plaats aan de voorkant en de afvoer aan de achterkant van het compartiment. Het belangrijkste nadeel van dit systeem is dat verontreinigingen, zoals b.v. sigarettenrook worden verspreid over het gehele compartiment voordat zij worden afgevoerd. Een betere oplossing lijkt het om de afvoeropeningen boven de rokende passagiers te plaatsen, dus in het dak van het voertuig, zodat de rook direct wordt afgezogen. In overeenstemming met een welbekend principe in de klimaatregeling dienen de afvoeropeningen zo dicht mogelijk bij de bron te worden geplaatst; dit kan een verontreinigingsbron zijn, zoals een rokende passagier, maar ook een warmtebron, zoals passagiers, zonnewarmte die door de ramen binnenkomt etc.

In dit artikel wordt de invloed besproken van verschillende manieren van luchttoe- en afvoer in een personenauto op het comfort van de inzittenden, wat hier beperkt is tot verontreinigingsconcentratie en luchttemperatuur. Tevens is de kans op condensatie op de achterraut beschouwd. Omdat het een eerste studie betreft is het meer de bedoeling om algemene richtlijnen te vinden voor de verschillende manieren van luchttoe- en afvoer, dan om nauwkeurige resultaten te voorspellen. In een later stadium zullen misschien drie dimensionele berekeningen worden verricht en meer nauwkeurige metingen voor speciaal ontworpen situaties worden uitgevoerd.

Methode van onderzoek

Het onderzoek is verricht door middel van berekeningen met het stromingsprogramma PHOENICS ontwikkeld door Rosten en Spalding [6]. De berekeningen omvatten de oplossing van vergelijkingen voor massa, impuls, energie, verontreinigingsconcentratie, turbulentie-energie en dissipatiesnelheid [7]. De basisvergelijking kan worden uitgedrukt in de algemene vorm:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t} + v(\rho v\Phi - \Gamma_{\Phi,eff}v\Phi) = S_{\Phi} \quad (1)$$

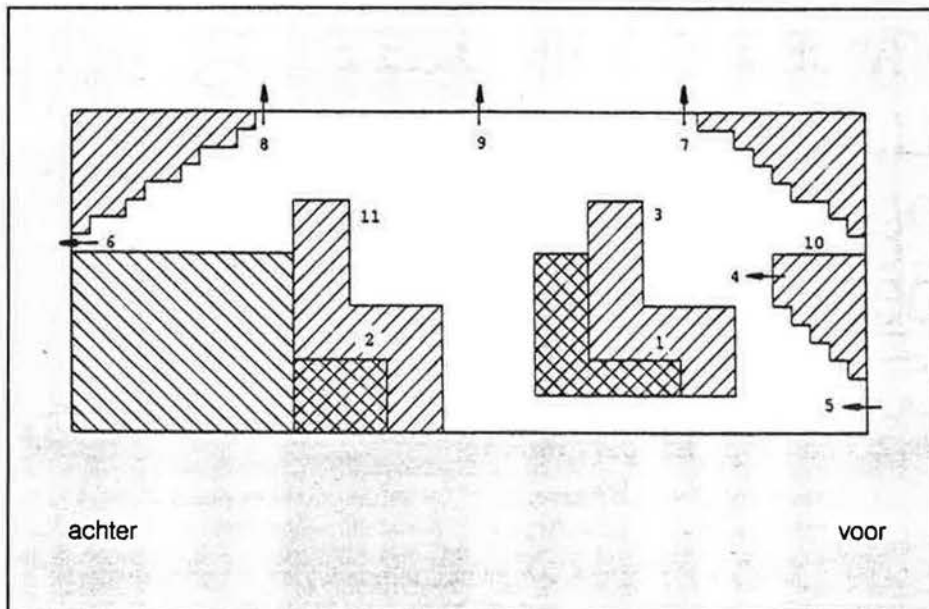
waarin:

- ρ is luchtdichtheid (kg/m³),

- v is luchtsnelheid (m/s),
 - Γ_{Φ} is de diffusiecoëfficiënt (N.s/m),
 - S_{Φ} is de bronterm voor de betreffende variabele Φ .
- Deze kan elk van de volgende variabelen zijn:
- 1 (continuïteitsvergelijking),
 - de snelheid u, v of w ,
 - kinetische energie van turbulentie k ,
 - dissipatiesnelheid van turbulentie energie ϵ ,
 - enthalpie h en
 - verontreinigingsconcentratie c .

In dit artikel zijn de waarden voor de concentraties aangegeven in parts per million (ppm). Voor een evaluatie van de luchtkwaliteit zijn de olf- en decipolwaarden, zoals geïntroduceerd door Fanger [8], meer geschikt, omdat deze gecorrigeerd zijn met het percentage ontevreden mensen. Door deze benadering te

Laboratorium voor Koudetechniek en Klimaatregeling, T.U. Delft.



Figuur 1. Berekingsmodel van een personenauto. 1 - voorpassagier (warmtebron 80 W); 2 - achterpassagier (warmtebron 80 W); 3 - rookbron (0,05 ml/s); 4 - luchttoevoer op hoog niveau; 5 - luchttoevoer op laag niveau; 6 - luchttoevoer (of afvoer) onder achterraut; 7 - dakafvoer vóór; 8 - dakafvoer achter; 9 - dakafvoer in het midden; 10 - warmtebron door zonnestraling (560 W); 11 - rookbron (0,05 ml/s).

volgen kan het percentage ontevreden mensen (PD-waarden) ten gevolge van luchtkwaliteit of ten gevolge van tocht met een luchtstromingsprogramma worden berekend en in de figuren worden aangegeven, zoals eerder is gedaan door Chen [9]. Deze benadering is hier niet gevolgd omdat het tweedimensionale berekeningen betreft, waardoor de absolute waarden van de berekende temperaturen en concentraties minder betrouwbaar zijn, en dus ook de PD-waarden.

Om het stromingspatroon in een personenauto te onderzoeken, is de verticale doorsnede in de lengterichting gemodelleerd, zoals weergegeven in fig. 1 eenvoudig door een rechthoekig rooster te gebruiken waarin bepaalde gedeeltes geblokkeerd zijn om ze ontoegankelijk voor luchtstroming te maken. De berekeningen zijn voorlopig tweedimensionaal uitgevoerd. Misschien worden de berekeningen in een later stadium herhaald met afgeronde begrenzingen (door gebruik te maken van z.g. boundary fitted coordinates) in plaats van de trapjeskrommen zoals hier gebruikt en drie-dimensionaal uitgevoerd. De begrenzingen werden verondersteld op een vaste temperatuur van 23°C. De inlaattemperatuur was gesteld op 20°C.

Onderzochte situaties

In dit onderzoek zijn vier methoden van luchttoevoer onderzocht, waarbij in alle gevallen de toevoer aan de voorkant

was geplaatst en wel op laag of hoog niveau (zie fig. 1):

- (A) 100 l/s op laag niveau, aangeduid met L 100;
- (B) 50 l/s op laag niveau en 50 l/s op hoog niveau, aangeduid met HL 50.
- (C) 100 l/s op hoog niveau, aangeduid met H 100,
- (D) 100 l/s op laag niveau en 100 l/s op hoog niveau, aangeduid met HL 100.

Deze methoden van luchttoevoer werden ieder onderzocht voor vier luchtuitlaatsystemen:

- de gebruikelijke manier met uitlaat onder de achterraut, verder aangeduid met 'normaal';
- dakuitlaat aan de voorkant;
- twee dakuitlaten, één aan de voorkant en één aan de achterkant;
- dakuitlaat aan de achterkant.

In totaal werden dus 16 situaties onderzocht. Later werden ook nog enkele bijzonder situaties berekend.

Om de invloed van warmtebronnen op de temperatuurverdeling in deze situaties te onderzoeken werden warmtebronnen aangenomen van 80 W voor de voorpassagier, 80 W voor de achterpassagier en 560 W op de bovenkant van het dashboard, om de geabsorbeerde zonnearmte door de voorruit te simuleren.

Om de invloed van een verontreinigingsbron op de concentratieverdeling te onderzoeken werd een verontreinigingsbron verondersteld op de plaats van de voorpassagier gelijk aan 0,05

ml/s. De concentratiecurven zijn aangegeven in parts per million (ppm). Omdat deze waarden niet gecorreleerd worden met percentage ontevreden is alleen een kwalitatieve vergelijking voor de verschillende situaties mogelijk.

Bij het bestuderen van de berekende concentratiecurven geven de figuren behalve informatie over de verontreinigingsconcentratie tevens informatie over het optreden van oppervlaktecondensatie tegen de ramen. Wanneer de passagiers worden beschouwd als bron voor waterdamp geven de berekende concentratiecurven tevens een indicatie over de waterdampconcentratie bij de ruit en dus over het optreden van oppervlaktecondensatie. Door de temperatuur- en concentratieverdelingen voor de nieuwe situaties te vergelijken met die voor de 'normale' situaties kan een indruk worden verkregen over de beste plaatsing van inlaat- en uitlaatsuuteningen met betrekking tot temperatuur- en concentratieverdeling. Meer dan een kwalitatieve vergelijking is met deze twee-dimensionale berekeningen niet mogelijk. Voor meer gedetailleerde resultaten zijn drie-dimensionale berekeningen noodzakelijk.

Berekende resultaten

Hier zullen alleen de belangrijkste resultaten worden besproken. Met betrekking tot comfort zijn drie parameters beschouwd:

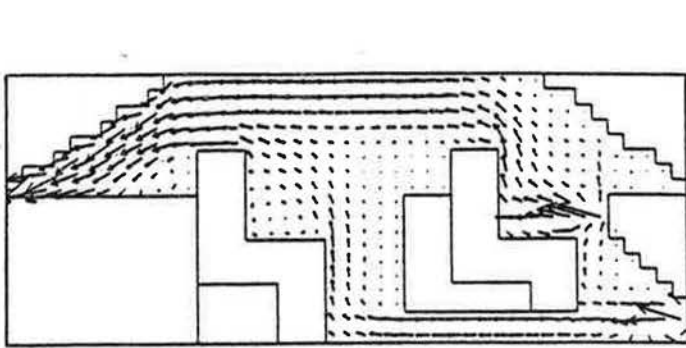
- concentratie bij de achterpassagier;
- temperatuur bij de voorpassagier en de achterpassagier, en
- concentratie bij de achterraut.

De resultaten voor de 'normale' situatie (luchtuitlaat onder de achterraut) zijn weergegeven in fig. 2, voor één dakuitlaat aan de voorkant in fig. 3, voor twee uitlaten (voor- en achterkant) in fig. 4. De resultaten voor één dakuitlaat aan de achterkant zijn hier niet gegeven omdat zij praktisch gelijk zijn aan die voor de 'normale' situatie. Van de verschillende luchtinlaatsituaties worden hier alleen de situaties met gecombineerde hoge en lage inlaat, aangeduid met HL 50 beschouwd.

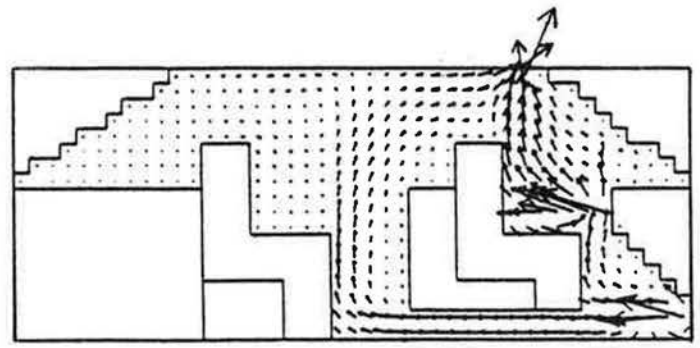
Concentratie van verontreinigingen

Allereerst moeten we ons realiseren dat in de situatie met een bronsterkte van 0,05 ml/s en een ventilatiesnelheid van 100 l/s bij volledige menging de concentratie van de uitlaatlucht 0,5 ppm zal zijn.

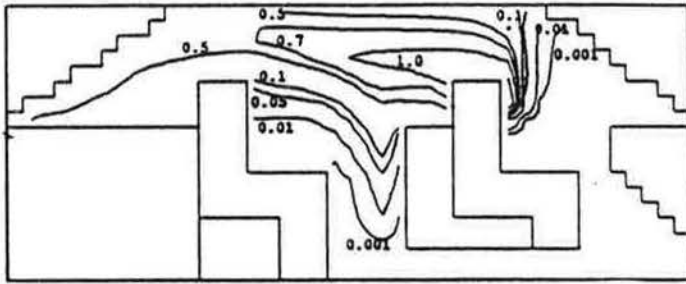
In de 'normale' situatie met één luchtuitlaat onder de achterraut (fig. 2b) is de concentratie bij de rokende voor-



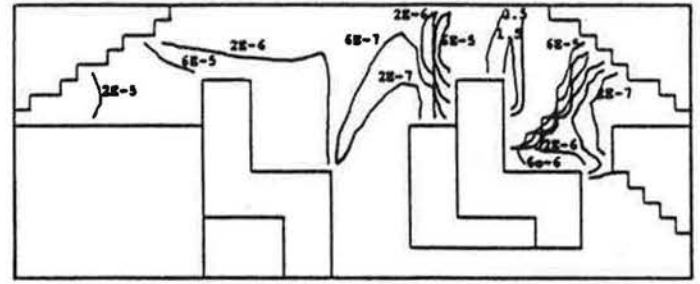
(a)



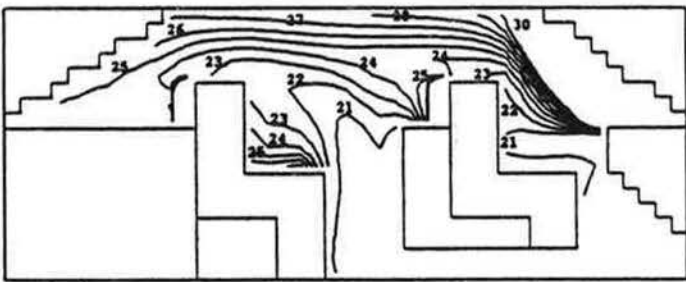
(a)



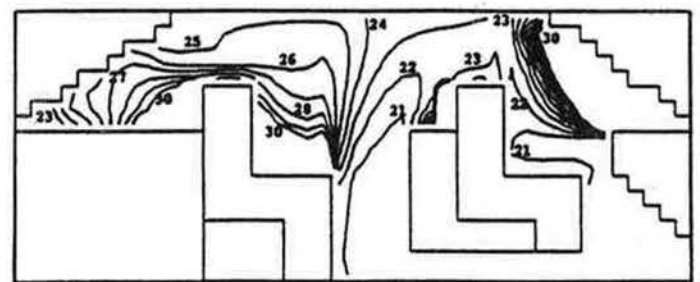
(b)



(b)



(c)



(c)

Figuur 2. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto voor normale situatie (luchtafvoer onder achterraut) met totale luchtstroom 100 l/s (HL 50)

Figuur 3. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto met één dakuitlaat voor en totale luchtstroom 100 l/s (HL50)

passagier vrij hoog: 0,01-1,0 ppm. Bij de achterpassagier is de concentratie ook hoog: 0,01-0,7 ppm, omdat de verontreinigde lucht hier passeert voordat deze via de luchtuitlaat wordt afgezogen. In de situatie met één dakuitlaat aan de voorkant (zie fig. 3b) is de concentratie bij de achterpassagier erg laag ($2 \cdot 10^{-6}$ - $6 \cdot 10^{-5}$), omdat al de verontreinigde lucht wordt verwijderd door de uitlaat boven de bron, terwijl achterin alleen verse lucht wordt toegevoerd. Met twee dakuitlaten (zie fig. 4b) wordt de verontreiniging gedeeltelijk afgevoerd via de vooruitlaat en gedeeltelijk via de achteruitlaat. Daarom is de concentratie bij de achterpassagier (0,005-0,13) beter dan voor de 'normale' situatie maar slechter dan met de uitlaat boven de bron. De conclusie van de berekeningen is dat de concentratie bij de achterpassagier het laagst is met één uitlaat vlak

boven de rokende passagier. Dit geldt alleen in combinatie met een inlaat op hoog/laag niveau of laag niveau. Met een inlaat op hoog niveau stagneert de luchtstroom in het achtercompartiment en wordt de concentratie erg hoog. Met twee dakuitlaten (voor en achter) in combinatie met een inlaat op hoog/laag niveau of laag niveau is de concentratie achter slechts een klein beetje beter dan in de 'normale' situatie. In combinatie met een inlaat op hoog niveau is de concentratie erg hoog door stagneren van de luchtstroom.

Temperatuur

In de 'normale' situatie met uitlaat onder de achterraut en inlaat op hoog/laag niveau (fig. 2c) is de temperatuur bij de voorpassagier 22-27°C en bij de achterpassagier 23-25°C. Met één dakuitlaat aan de voorkant (fig. 3c) zijn de tempe-

raturen 22-27°C voor en 25-30°C achter. De temperatuur voor is dus ongeveer gelijk aan die voor de 'normale' situatie en de temperatuur achter zelfs iets hoger.

Met twee dakuitlaten (voor en achter) (zie fig. 4c) is de temperatuur voor ongeveer 22-27°C en de temperatuur achter 23-26°C, dus ongeveer gelijk aan de 'normale' situatie. Voor alle situaties zijn de temperaturen echter te hoog. Een meer comfortabele situatie wordt verkregen wanneer de luchtstroom wordt verdubbeld tot 200 l/s. Voor de situatie met inlaat op hoog/laag niveau (HL 100) en twee dakuitlaten zijn de concentratie- en temperatuurverdelingen weergegeven om fig. 5b en 5c. De temperatuur voor is 21-25°C en achter 21-23°C, dus comfortabeler dan in de voorgaande situaties.

Condensatie op de achterrui

Wanneer de voorpassagier beschouwd wordt als waterdampbron geeft de concentratie bij de achterrui een indicatie over de kans op condensatie tegen de achterrui.

Voor de 'normale' situatie (uitlaat onder de achterrui) (fig 2b) is de concentratie bij de achterrui 0,5 ppm. De vochtige lucht passeert de achterrui, voordat deze wordt afgevoerd. Met één dakuitlaat voor (fig 3b) is de concentratie erg laag (ongeveer $2 \cdot 10^{-5}$ ppm), omdat alle waterdamp afgevoerd wordt door de uitlaat voor. De kans op oppervlaktecondensatie is daardoor laag. Met twee dakuitlaten (zie fig. 4b) is de concentratie 0,05-0,13 ppm. In deze situatie is de concentratie weer hoger omdat een deel van de waterdamp wordt afgevoerd door de uitlaat achter. De situatie in fig. 3 lijkt redelijk goed; wanneer echter een achterpassagier aanwezig is mag een veel hogere concentratie worden ver-

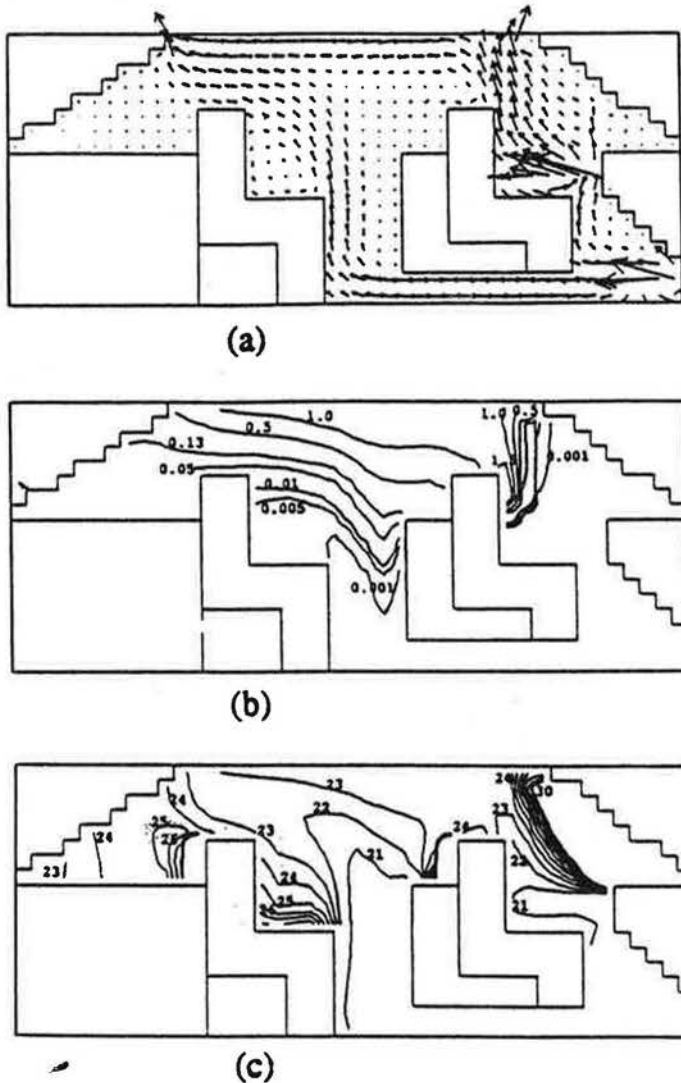
wacht omdat de luchtstroming bijna stagneert. Daarom is de situatie onderzocht met een extra luchtinlaat onder de achterrui en een tweede bron achter (0,05 ml/s). De resultaten zijn weergegeven in fig. 6. In deze situatie is de concentratie bij de achterrui vrij laag ($1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-2}$), zelfs met een extra vochtbron achter.

Simulatie van een open dak

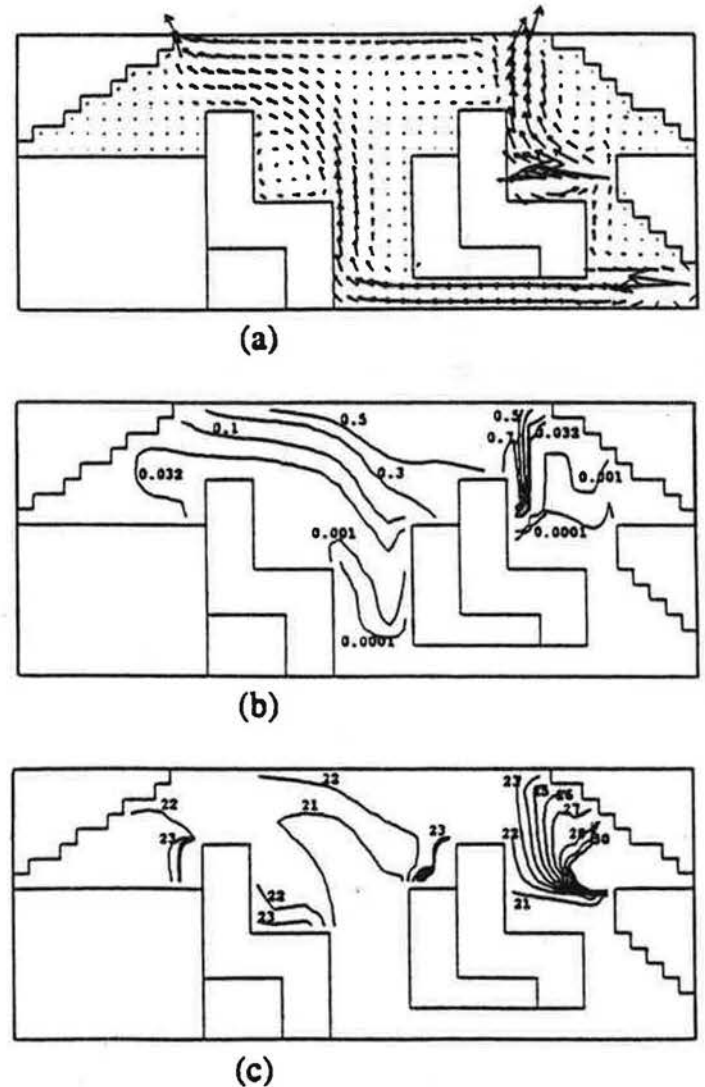
Uit de praktijk is bekend dat een open dak zeer efficiënt werkt voor het verlagen van hoge binnentemperaturen tijdens zomercondities terwijl de frisse lucht zonder tochtklachten kan worden toegevoerd. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat door de opening in het dak in het compartiment onderdruk wordt gecreëerd, hetgeen een hoge luchtstroming via alle inlaatopeningen veroorzaakt. Het nadeel is een hoog geluidsniveau ten gevolge van windgeruis bij het open dak, speciaal bij hoge

snelheden.

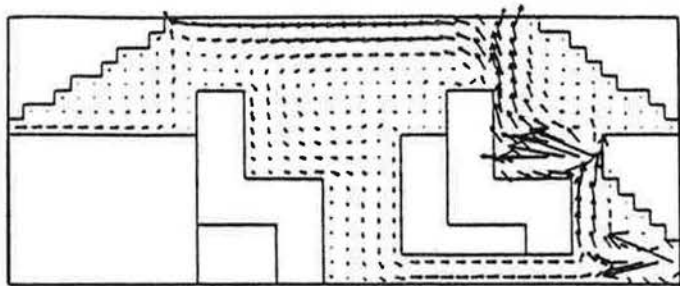
De situatie met open dak is gesimuleerd door beide luchtinlaten hoog en laag te gebruiken en een zeer hoge toevoerluchtstroom in te stellen (vier maal hoger dan normaal) van 400 l/s verdeeld over beide inlaten en deze af te voeren via een dakuitlaat in het midden. De gebruikelijke warmtebronnen werden aangenomen (in totaal 720 W) en één roker voor. De concentratie- en temperatuurverdelingen zijn weergegeven in fig. 7. De concentratie achter is erg laag, zodat geen hinder wordt ondervonden van een roker voor. De temperatuur voor en achter is ook zeer comfortabel (21-24°C). Alleen is de temperatuur bij de achterrui vrij hoog (23-26°C), hetgeen wordt veroorzaakt door stilstaande lucht. Door een extra luchtinlaat bij de achterrui aan te brengen kan dit worden verbeterd.



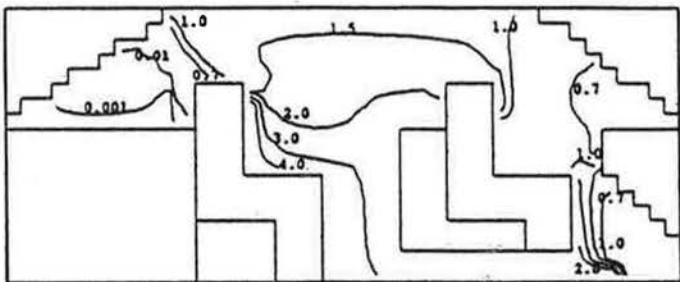
Figuur 4. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto met twee dakafvoeren (één voor en één achter) en totale luchtstroom 100 l/s (HL 50)



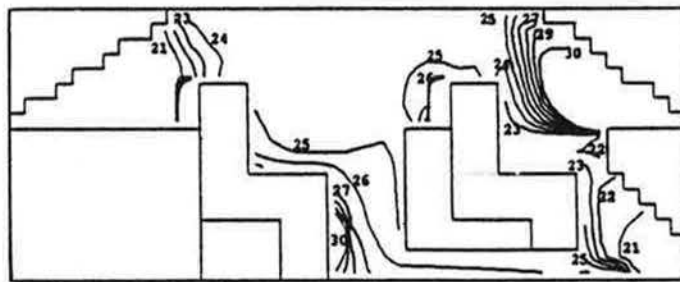
Figuur 5. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto met twee dakafvoeren (één voor en één achter) en totale luchtstroom 200 l/s (HL 100)



(a)

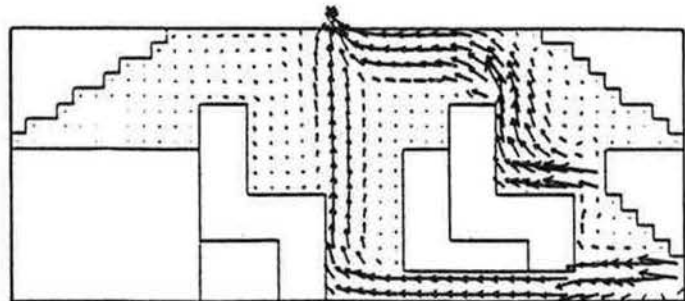


(b)

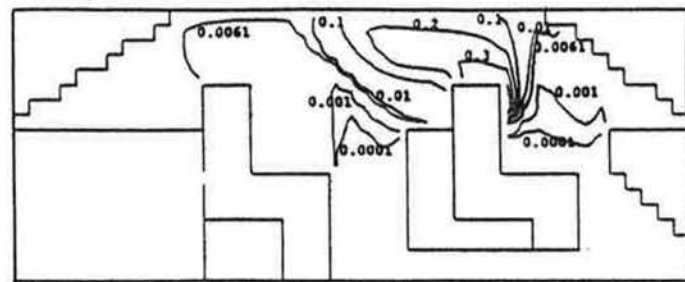


(c)

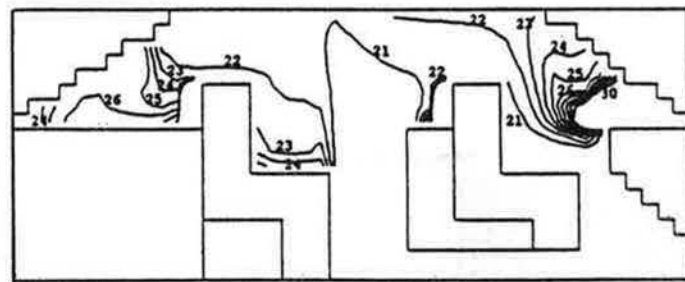
Figuur 6. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto met twee dakafvoeren en een extra luchttoevoer onder het achterraam. Verontreinigingsbronnen ter plaatse van voor- en achterpassagier. Totale luchtstroom door beide toevoerroosters voor is 84 l/s en door rooster achter 16 l/s.



(a)



(b)



(c)

Figuur 7. Verdeling van a) luchtsnelheid, b) concentratie (ppm) en c) temperatuur (°C) in een personenauto met één dakafvoer in het midden en een totale luchtstroom van 400 l/s (HL 200).

Realisatie in de praktijk

Bij de meeste auto's zijn tegenwoordig de afzuigopeningen aangebracht onder of naast de achterruit. De afzuiging vindt plaats via de kofferruimte of via kanalen naar de achterkant van de auto, waar de winddruk laag is. De hier voorgestelde manier van ventilatie via uitlaatroosters in het dak kan worden gerealiseerd zoals aangegeven in fig. 8. Twee afzuigkanalen zijn geconstrueerd tegen het dak bij de zijramen (kanalen 1 en 2). Aan de achterkant zijn deze kanalen door middel van de kanalen 5 en 6 verbonden met de bagageruimte of met een andere plaats waar de winddruk laag is. Ook kunnen er kanalen boven de voor- en achterruit (kanalen 3 en 4) worden aangebracht en verbonden met de andere. Alle kanalen moeten worden voorzien van afzuig-

roosters die indien nodig moeten kunnen worden gesloten. Door platte en wijde kanalen toe te passen kan de doorgang zo groot mogelijk worden gemaakt en door de kanalen 5 en 6 te laten uitmonden op een plaats waar de winddruk laag is of door een extra afzuigventilator aan te sluiten kan de luchtstroom worden verhoogd. Op deze manier kan de situatie met een open dak worden geïmiteerd met alleen de voordelen van een grote luchtstroom en zonder de nadelen van een hoog geluidsniveau.

Conclusies

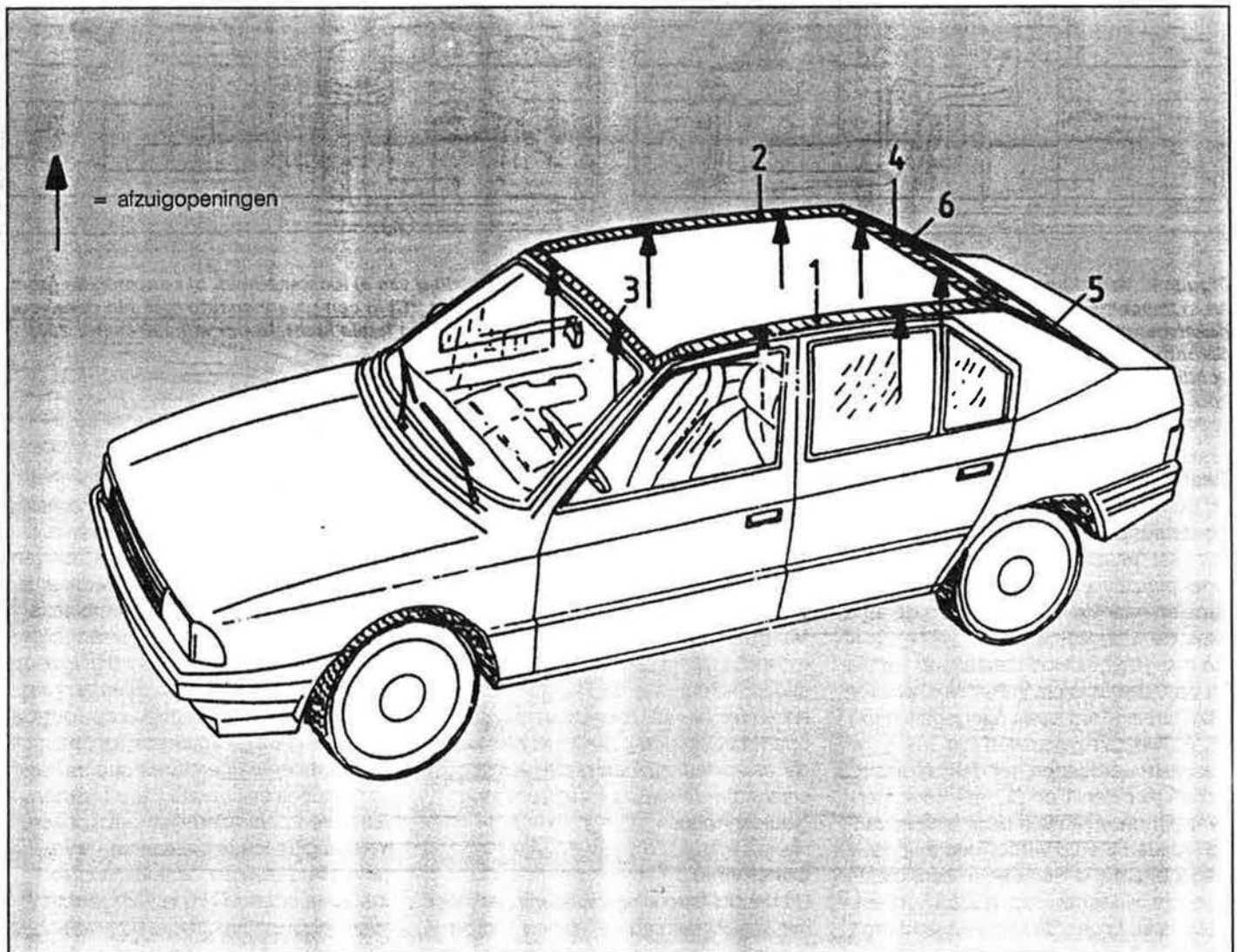
Uit de luchtstromingsberekeningen voor het analyseren van de invloed van de plaats van luchttoe- en afvoeropeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

De verontreinigingsconcentratie in het passagierscompartiment kan aanzienlijk worden verlaagd door boven iedere zitplaats een afzuigrooster aan te brengen en alleen het rooster boven de roker te openen. Deze afzuiging in combinatie met luchttoevoer op hoog niveau (bij het dashboard) tezamen met luchttoevoer op laag niveau (bij de vloer) levert een lage verontreinigingsconcentratie op voor de niet-rokende passagier (zie fig. 3). Hoge binnentemperaturen gedurende zomercondities kunnen veelal worden vermeden door allereerst getint of zonerend glas toe te passen en vervolgens alle dakafvoeropeningen (voor en achter) te openen en de luchtstroom door beide inblaasroosters (hoog en laag niveau) op te voeren tot tenminste in totaal 200 l/s (zie fig. 5). Waterdampcondensatie tegen de ach-

terruit kan worden voorkomen door een extra luchtinlaat onder het raam aan te brengen. In combinatie met afvoerroosters in het dak wordt stilstaande lucht in het achtercompartiment voorkomen, hetgeen resulteert in een lagere dampconcentratie en dientengevolge minder kans op condensatie. Deze extra luchtinlaat vermindert ook de temperatuur en verontreinigingsconcentratie in het achtercompartiment (zie fig. 6). Door een open dak wordt de concentratie en temperatuur in het passagierscompartiment aanzienlijk verlaagd (zie fig. 7). Als het mogelijk is om de voordelen van het open dak (hoge luchtstroom zonder tochtverschijnselen) te handhaven en de nadelen (hoog geluidsniveau bij hoge rijnsnelheid) te vermijden door een constructie als aangegeven in fig. 8, is dit de beste oplossing. De werking moet nog verder worden onderzocht door praktijkmetingen.

Literatuur

- [1] Frank W., Oesz H.D., Mehr Klimakomfort im Personenwagen, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 89 (1987) 9, p. 505-508.
- [2] Grohmann K., Kess W., Egle S., Klimaautomatik der neuen 7er Baureihe von BMW, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 90 (1988) 3, p. 109-116.
- [3] Nonnenmann M., Klimatisieren von Personenkraftwagen, Supplement ATZ 12/1980, p. 11-15.
- [4] Boelke K., Frank W., Automatische Steuerung und Regelung von Heizungs-, Belüftungs- und Klimaanlage, Supplement ATZ 12/1980, p. 20-25.
- [5] Shimizu, S., Hara H., Asakawa F., Analysis on air-conditioning heat load of a passenger vehicle, Int. Journal of Vehicle Design, vol. 4, no. 3, 1983, p. 292-311.
- [6] Rosten, H.I. and Spalding, D.B. 1987; The PHOENICS Reference Manual, Technical backside Report 200, Version 1.4, CHAM Ltd, London.
- [7] Patankar S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Mc Graw-Hill, New York, 1980.
- [8] Fanger P.O., Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors, Energy and Buildings, Vol. 12, no. 1, 1988, p. 1-6.
- [9] Chen Q.Y., Suter, P., Moser A., Evaluation of indoor air quality by a perceived comfort equation. Proc. 5th Int. Conf. on Air Quality and Climate: Indoor Air'90, Toronto, Canada.



Figuur 8. Realisatie van dakafzuigopeningen