

Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1

**Deel 5:
Bescherming tegen toxische stoffen
door verblijf binnenshuis**

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Inhoudsopgave	pagina
Samenvatting	4
Summary	4
1 Inleiding	6
2 Identificatieschema's	7
3 Ventilatievoud en adsorptie	9
3.1 Ventilatie en infiltratie	9
3.1.1 Ventilatievoorzieningen en -systemen	9
3.1.2 Onbedoelde ventilatie: infiltratie	11
3.2 Ventilatie afhankelijk van de algemene meteorologische omstandigheden	12
3.3 Ventilatievoud in woningen	15
3.4 Ventilatievoud in openbare gebouwen en bedrijfsruimten.	15
3.5 Opzettelijke ventilatie; "Spuivoorziening"	16
3.5.1 Ontalarmering	16
3.5.2 Alarmeringstijd	17
3.6 Adsorptie van gassen aan binnenshuis aanwezige materialen	17
3.7 Reductie van de achtergrondconcentratie	18
4 Concentratie binnenshuis	19
4.1 Het één-kamer model	19
4.2 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe continue bron.	21
4.3 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe tijdelijke bron	22
4.4 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe instantane bron.	24
4.5 Rekenvoorbeeld bij paragraaf 4.3	24
4.6 Het meer-kamer model: ventilatierekenmodel VENCON	25
4.7 Simulaties met ventilatierekenmodel VENCON	26
4.7.1 Portiekwoning (flatwoning)	27
4.7.2 Eengezinswoningen	29
4.7.3 De invloed van windsnelheid op de effectiviteit van de maatregelen	30
4.7.4 De invloed van de luchtdoorlatendheid van de woning	31
5 Bescherming en beschermingsmaatregelen	32
6 Dichtheidseffecten	35
7 Nauwkeurigheid van modellen	36
8 Conclusies	37
Symbolenlijst	38
Literatuur	39

Grafieken	42
Bijlage 1: Vergelijkingen voor binnenconcentratieberekeningen	44
Bijlage 2: Beschrijving van simulaties met meerkamermodel VENCON	45

Samenvatting

In het kader van de studie voor het opstellen van het "Schadeboek" werd het hoofdstuk "Bescherming tegen toxische stoffen door verblijf binnenshuis" aanvankelijk geschreven aan de hand van eerder door het PML-TNO en IMG-TNO verricht onderzoek uitgebreid met een literatuurstudie. Thans wordt mede verwezen naar een in 1999 in opdracht van de GGD te Rotterdam door TNO uitgevoerd ventilatieonderzoek naar infiltratie en verspreiding van buitenluchtverontreinigingen in woningen bij calamiteiten. Ook wordt nu verwezen naar het Bouwbesluit met eisen voor (minimale) ventilatie en luchtdoorlatendheid en naar de recente ventilatienormen. Voor de mate van bescherming binnenshuis voor passieve contaminanten die buitenshuis ontstaan zijn, is door TNO het ventilatierekenmodel VENCON ontwikkeld waarmee inzicht wordt gegeven in het optredende verontreinigingsniveau in (de verschillende vertrekken in) woningen bij calamiteiten afhankelijk van diverse parameters.

Daarnaast blijft het voor de raadpleger van dit schadeboek mogelijk om onafhankelijk van voornoemd rapport de concentratiereductie en de dosisreductie te berekenen. Omdat hierbij de ventilatie in huizen en gebouwen een grote rol speelt, worden tevens enige aan de literatuur ontleende ventilatieparameters gegeven hoewel deze ventilatieparameters gebaseerd zijn op minder kierdichte woningen van voorheen.

Uit simulatieberekeningen met het rekenmodel VENCON kwamen de volgende conclusies naar voren. Het afschakelen van de mechanische ventilatie en het afplakken van de ventilatieopeningen vertraagt meestal de stijging van de concentratie binnenshuis. De concentratie blijft het laagst bij vrij luchtdichte gebouwen, zoals flatwoningen. De meest optimale bescherming tegen de passage van een toxische wolk treedt op bij een dichte woning met een inpandige ruimte (bij voorkeur zonder afvoerrooster) en een windsnelheid waarbij aan de aan de lizijde gelegen ruimten juist exfiltratie optreedt. Indien geen inpandige ruimte voorhanden is, zal een aan de lizijde gelegen ruimte de meest aangewezen ruimte zijn om in te schuilen. De woonkamer is in de meeste gevallen niet de gunstigste ruimte om te schuilen bij een incident.

Summary

Within the framework of the "Vulnerability Book", the chapter "Protection from outdoor pollution by being indoors" has formerly been written, based on earlier work carried out by PML-TNO and IMG-TNO, and a study of literature. The present version of this chapter is also based on a study carried out by TNO for GGD Rotterdam. In this study (1999) the infiltration and indoor spread of hazardous pollutants released in calamities is examined. The present chapter "Protection from outdoor pollution by being indoors" also refers to the dutch "Bouwbesluit", which prescribes minimum ventilation and air-tightness criteria, and to recent norms for ventilation.

For the extent of protection from being indoors against passive pollution of outdoor origin, TNO has developed the ventilation calculation model VENCON. With VENCON the concentration levels in various parts of a building can be calculated for different circumstances. Next to this model, the formulas from the previous version of this vulnerability book are still available to the user to calculate concentration reduction and dose reduction. Because ventilation in houses and buildings is an important parameter in these calculations, some ventilation parameters from literature are given. However, these parameters are based on less air-tight buildings than those built nowadays.

Simulations with VENCON have lead to the following conclusions. Shutting off mechanical ventilation systems and taping ventilation openings will usually retard the increase of the in-building concentration. The concentration stays the lowest in relatively air-tight buildings, like apartments. Optimal protection against a passing toxic cloud is achieved in an air-tight house with a room without windows (and preferably without ventilation openings) and at a wind speed at which exfiltration takes place in rooms at the lee of the building. If there is no such room without windows available, a room at the lee side of the building will be the most appropriate room to seek shelter. The living room is not the best room to seek shelter in most cases.

1 Inleiding

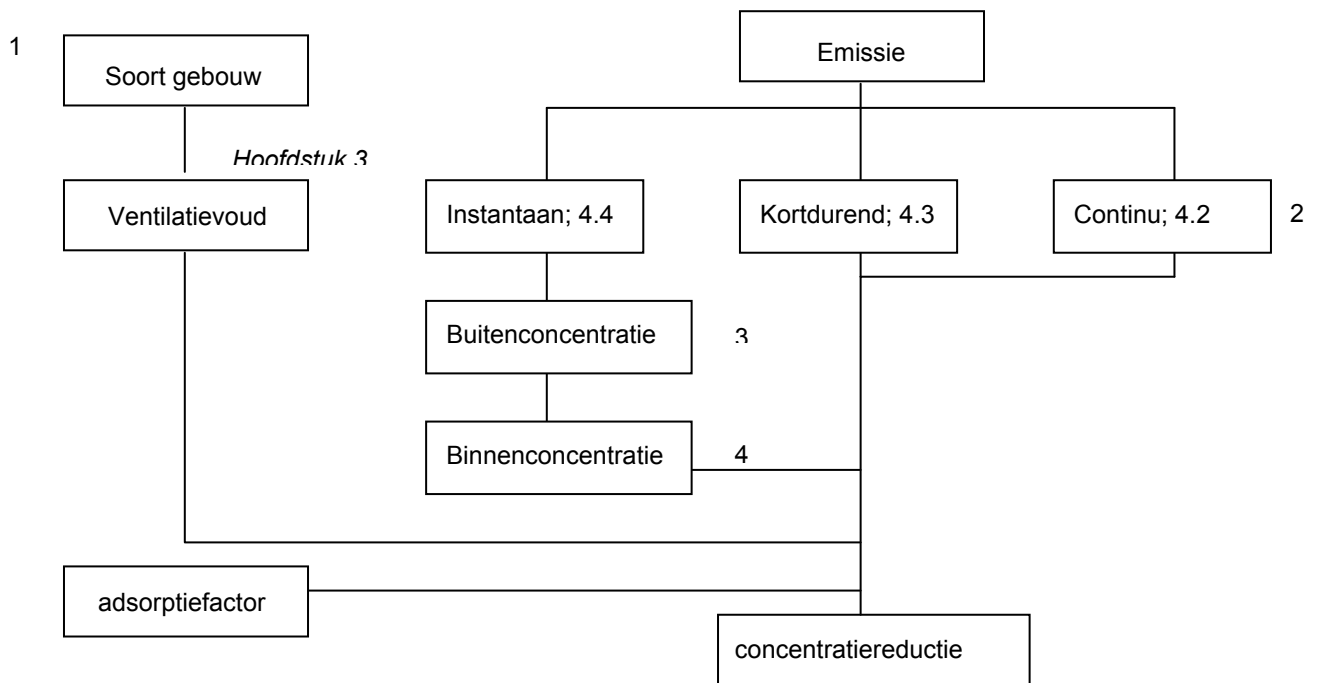
Bij het accidenteel vrijkomen van toxische of brandbare gassen of aerosolen worden deze met de wind meegevoerd, verspreid en verdund. De mate van verspreiding en verdunning van de wolk kan bepaald worden met behulp van een dispersiemodel. Bereikt een dergelijke wolk een woonhuis of ander gebouw dan zal na verloop van tijd de ontsnapte stof altijd de huizen binnendringen, maar de concentratie binnenshuis is gedurende enige tijd lager dan de concentratie buitenshuis. Er is dus bij verblijf binnenshuis, bij het passeren van een toxische wolk, een zekere mate van bescherming te verwachten. De snelheid van binnendringing en de maximale binnenconcentratie zijn afhankelijk van de concentratie van de stof in de wolk buitenshuis, de passagetijd van de wolk, de mate van uitwisseling van binnen- en buitenlucht (ventilatie en infiltratie) en de adsorptie en reactie van de stof met materialen. Minimale ventilatie (prestatie-)eisen zijn vastgelegd in het "Bouwbesluit" [32]. Hierin wordt verwezen naar de geldende ventilatienormen (NEN 1087 dec. 2001 voor woongebouwen) en eisen aan luchtdoorlatendheid (NEN 2686). Tenslotte is tevens de dichtheid van het gas van invloed op de mogelijkheid om het gebouw binnen te dringen.

In dit onderdeel van PGS 1 is aan de hand van recent onderzoek door GGD-TNO [33] en aan de hand van eerder door IMG-TNO en PML-TNO uitgevoerde onderzoeken - referentie 13,4,51 – aangevuld met andere gegevens uit de literatuur, nagegaan hoe groot de bescherming is, die verkregen wordt door verblijf binnenshuis. Tevens worden formules en relevante data gepresenteerd die het mogelijk maken het concentratieverloop binnen een gebouw als gevolg van het voorbij trekken van een toxische wolk, te berekenen. Hiertoe zijn twee modellen beschikbaar:

- het één-kamer model, zoals dit ook in de vorige versie (CPR 16) was beschreven;
- het meer-kamer model, dat beschikbaar is in de vorm van het computer rekenmodel VENCON.

In hoofdstuk 2 is een identificatieschema opgenomen voor het berekenen van de concentratie binnenshuis. In hoofdstuk 3 is informatie omtrent ventilatie van gebouwen opgenomen. In hoofdstuk 4 worden formules en het VENCON rekenmodel van TNO gepresenteerd om de concentratie binnenshuis te berekenen. In hoofdstuk 5 worden de mate van bescherming en de conclusie van eventueel te nemen maatregelen zoals vermeld in het TNO-rapport nader besproken. Hoofdstuk 6 gaat in op enige aspecten van de dichtheid van het toxische gas. Hoofdstuk 7 gaat in op de nauwkeurigheid van de modellen waarmee de concentratie binnenshuis kan worden bepaald. Tenslotte zijn in hoofdstuk 8 de conclusies met betrekking tot schuilen binnenshuis opgenomen.

2 Identificatieschema's



Figuur 2-1 Identificatieschema voor het één-kamer model

Toelichting op het identificatieschema.

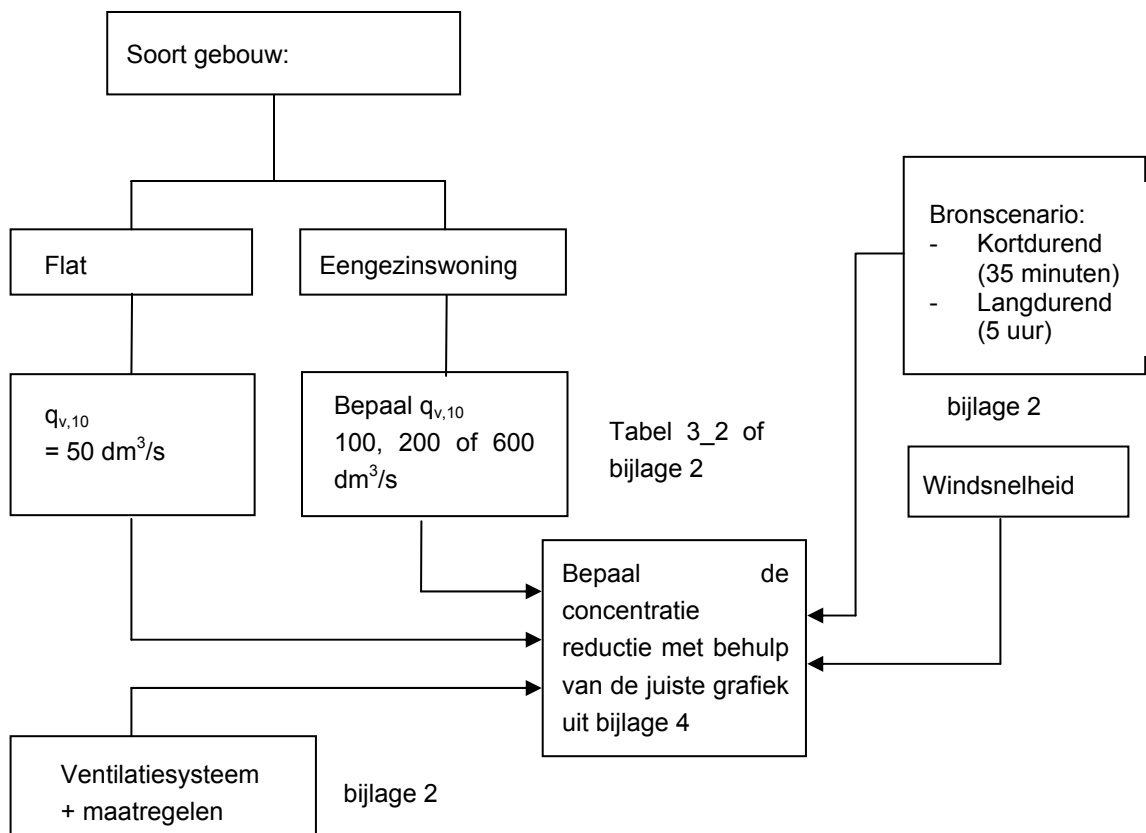
ad 1. Aan de hand van hoofdstuk 3 wordt afhankelijk van het soort gebouw een gemiddelde ventilatievoud gekozen.

ad 2. In het model wordt de emissie van contaminanten beschouwd als zijnde instantaan of constant gedurende een bepaalde periode (tijdelijke bron). Een emissie waarbij de afstand tot de bron gedeeld door de windsnelheid en de bronduur groter is dan 18 kan als instantaan worden beschouwd - zie hiervoor [1].

ad 3. Met behulp van een dispersiemodel wordt de concentratie buiten het huis of gebouw berekend. Eventuele invloeden van depositieverliezen en/of pluimstijging kunnen in rekening gebracht worden (zie b.v. [1], herziene uitgave).

ad 4. Voor een tijdelijke of instantane bron kan de maximale binnenconcentratie worden berekend.

De concentratiereductie wordt berekend met behulp van de formules uit hoofdstuk 4.



Figuur 2-2 Identificatieschema voor het meer-kamer model

Toelichting bij het identificatieschema:

Met behulp van de juiste grafiek uit bijlage 4 kan de concentratiereductie worden bepaald voor een lang of een kort bronscenario. De parameters waarvan de waarde bepaald moet worden teneinde de juiste grafiek te kiezen, zijn:

- de soort woning (flat of eengezinswoning);
- de $q_{v,10}$ waarde;
- het ventilatiesysteem en de genomen schuilmaatregelen;
- de windsnelheid.

3 Ventilatievoud en adsorptie

3.1 Ventilatie en infiltratie

Ventilatie is luchtuitwisseling tussen binnen en buiten. Onder normale omstandigheden wordt de in het gebouw 'vervuilde' lucht naar buiten afgevoerd terwijl 'schone' buitenlucht wordt toegevoerd. Ventilatie van gebouwen komt tot stand door luchtdrukverschillen die, via openingen in de gebouwconstructie, luchttransporten veroorzaken. De luchtdrukverschillen kunnen worden veroorzaakt door natuurlijke krachten, dus door wind en temperatuurverschillen, maar ook door mechanische krachten zoals ventilatoren. Veelal is er sprake van een combinatie van beide. Luchtdrukverschillen en openingen zijn derhalve belangrijke grootheden voor de concentratie van een stof binnen.

In de eerste plaats wordt er geventileerd om de koolzuur- en zuurstofconcentratie op een aanvaardbaar peil te houden. De hiervoor benodigde lucht volumestroom is echter klein vergeleken met de stroom die nodig is om tevens de door de mens geproduceerde geuren en ander stoffen effectief te verlagen tot een aanvaardbaar niveau. Uit gezondheidskundige overwegingen worden dus zwaardere eisen aan de ventilatie gesteld dan strikt noodzakelijk is om te overleven.

3.1.1 Ventilatievoorzieningen en -systemen

In het bouwbesluit [32] is aangegeven welke ruimten voorzien moeten zijn van een voorziening voor luchtverversing. In het bouwbesluit zijn, onderscheiden naar gebouwfunctie en ruimte, voorschriften gegeven voor de minimumcapaciteit en voor de inrichting van die voorziening. Die capaciteits- en inrichtingseisen waarborgen dat, onder de in Nederland heersende weersomstandigheden, aan redelijke eisen van luchtverversing kan worden voldaan. De minimum technische bouwvoorschriften uit het bouwbesluit hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu. Het Bouwbesluit is in werking getreden op 1 januari 2003.

De mate waarin ventilatie plaatsvindt, wordt uitgedrukt in het ventilatievoud. Dit is het getal dat aangeeft hoeveel maal per uur de kamerinhoud aan verse lucht wordt ingebracht. Het ventilatievoud is een der bepalende parameters in de berekening van de concentratie binnenshuis en wordt uitgedrukt in h^{-1} . Een andere veel gebruikte maat om ventilatie aan te geven is de hoeveelheid verse lucht, die per uur en per persoon in de ruimte gebracht moet worden, uitgedrukt in $m^3/h/persoon$.

Een voorziening voor de luchtverversing voor een verblijfsruimte heeft een volgens NEN 1087 bepaalde capaciteit van tenminste de grenswaarde als aangegeven in het bouwbesluit (deel 3.10). Tevens is daarin bepaald dat een opening van de voorziening voor luchtverversing niet afsluitbaar is. Ook zijn er voor nieuwbouw beperkingen gesteld aan de luchtdoorlatendheid.

De NEN 1087 "Ventilatie van gebouwen" geeft de voor het bouwbesluit relevante bepalingsmethode voor luchtverversing. Deze bepalingsmethoden zijn voor alle gebouwen toepasbaar.

Er zijn twee basisprincipes van ventilatie te onderscheiden: natuurlijke en mechanische ventilatie. Natuurlijke ventilatie komt tot stand door de invloed van wind en temperatuurverschillen. Natuurlijke toevoer van ventilatielucht kan plaatsvinden door middel van ventilatieopeningen in de gevel zoals ventilatieroosters en klepramen. De volumestroom door deze ventilatieopeningen wordt tot stand

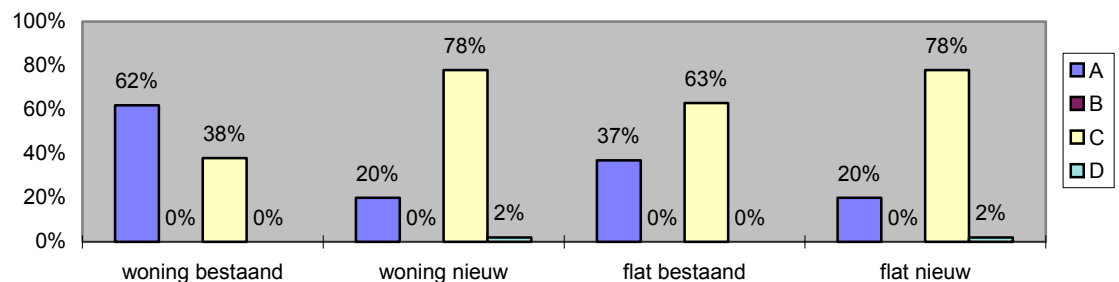
gebracht door een bepaald drukverschil over de opening. Afvoer vindt plaats via (bouwkundige) kanalen waarbij de thermische trek (schoorsteeneffect) en de onderdruk, veroorzaakt door de wind, de drijvende krachten zijn.

Mechanische ventilatie wordt tot stand gebracht door middel van ventilatoren. De basis van een mechanisch ventilatiesysteem bestaat uit een ventilator, kanalsysteem en roosters. Dit basissysteem kan naar behoefte worden uitgebreid met verdere componenten zoals filters, geluiddempers, verwarmings- en koelsecties, kleppen etc.

Ventilatie van gebouwen kan op verschillende manieren tot stand worden gebracht. Er worden in principe vier systemen onderscheiden:

- Systeem A natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer
- Systeem B mechanische toevoer en natuurlijke afvoer
- Systeem C natuurlijke toevoer en mechanische afvoer
- Systeem D mechanische toevoer en mechanische afvoer, al of niet met warmte-terugwinning en recirculatie

Voor 1960 kwamen er nauwelijks woningen met mechanische ventilatiesystemen voor. Omstreeks het jaar 2000 werd bijna 80% van de nieuwbouw hiermee uitgevoerd. Slechts 2% van de nieuwbouw werd in het jaar 2000 met een gebalanceerd ventilatie systeem uitgevoerd. De verwachting is echter wel dat in de nabije toekomst, zeker nu de energieprestatiecoëfficiënt is aangescherpt, dit percentage zal toenemen.



Figuur 3-1 Toepassing van ventilatiesystemen

In Tabel 3-1 is een overzicht van de ventilatiesystemen en bijbehorende debieten voor eengezinswoningen en flatwoningen opgenomen.

De mechanische systemen zijn normaal gesproken ingeregeld op 42 tot 63 dm³/s in hoogstand en resp. 75% en 50% in tussen- en laagstand. De natuurlijke systemen zijn afgestemd op 42 tot 63 dm³/s bij een windsnelheid van 2 m/s en een temperatuurverschil van 15K.

Tabel 3-1 Overzicht ventilatiesystemen

Systeem	A	C	D
<i>Toevoer</i>	natuurlijk, via ramen en roosters in gevel	natuurlijk, via ramen en roosters in gevel	mechanisch, via kanalenstelsel
<i>Afvoer</i>	natuurlijk, via verticaal bouwkundig kanaal (uitmonding bovendaks)	mechanisch, via kanalenstelsel (uitmonding bovendaks)	mechanisch, via kanalenstelsel
<i>Debiet</i>	42 dm ³ /s bij een windsnelheid van 2 m/s	42~63 dm ³ /s in hoogstand	42~63 dm ³ /s
<i>Regelbaarheid toevoer</i>	handmatig	Handmatig	drie standen schakelaar
<i>Regelbaarheid afvoer</i>	nee, permanent open	drie standen schakelaar	drie standen schakelaar
<i>Afsluitbaarheid toevoer</i>	ja	Ja	uitzetten en afplakken
<i>Afsluitbaarheid afvoer</i>	afplakken	uitzetten en afplakken	uitzetten en afplakken

3.1.2 Onbedoelde ventilatie: infiltratie

De luchtuitwisseling die tot stand komt via ondichtheden in de gebouwschil, zoals kieren en naden (infiltratie) worden niet als luchtverversing in de zin van het bouwbesluit en NEN-1087 (bewust aangebrachte constructieonderdelen voor luchtverversing) aangemerkt. Deze infiltratielucht kan het gewenste ventilatieniveau verstoren en onnodig energieverbruik teweegbrengen. Om die reden zijn bij of krachtens het Bouwbesluit aan de luchtdoorlatendheid van gebouwen ook eisen gesteld.

In het geval dat een toxische wolk aanwezig is bij het gebouw, blijft het na het dicht en uitschakelen van alle ventilatievoorzieningen, mogelijk dat gassen infiltreren via naden en kieren van de woning of het gebouw. De mate van infiltratie hangt af van de luchtdoorlatendheid van het gebouw, de aanwezige drukverschillen en de verdeling van de lekken over de schil. De aanwezige drukverschillen worden veroorzaakt door wind en temperatuurverschil.

Gegevens over de luchtdoorlatendheid van woningen zijn terug te vinden in [36] en [37]. De gegevens omtrent luchtdoorlatendheid zijn verkregen via instanties die metingen van luchtdoorlatendheid uitvoeren. De luchtdoorlatendheid is uitgedrukt als $q_{v,10}$ in dm³/s; dit is het luchtdebiet door de omhulling van de woning, bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 10 Pascal. Hoe groter de waarde van $q_{v,10}$, des te 'lekker' is de constructie.

De relevante conclusies uit deze rapporten zijn:

Eengezinswoningen zijn gemiddeld 3 maal zo luchtdoorlatend als gestapelde (flat)woningen.

De luchtdoorlatendheid van de eengezinswoningen blijkt na de periode 1970~1975 gestaag af te nemen. In een periode van ongeveer 20 jaar hebben de woningen gemiddeld nog maar ¼ van de oorspronkelijke luchtdoorlatendheid.

Eengezinswoningen gebouwd na 1980 hebben een luchtdoorlatendheid met een $q_{v,10}$ waarde kleiner dan 200 dm³/s, met een gemiddelde van ca. 100 dm³/s.

Bij woningen, gebouwd in de periode 1945~1975, komt een waarde van $q_{v,10}$ van 400 dm³/s nog al eens voor.

In de dagelijkse praktijk zal de luchtdoorlatendheid in een aantal gevallen groter zijn dan volgens de gestandaardiseerde meting wordt gesuggereerd. De reden is dat een aantal in de praktijk moeilijk afsluitbare openingen voor de meting (met aanzienlijke moeite) toch worden afgesloten. Tijdens een incident zal over het algemeen niet dezelfde mate van afdichten mogelijk zijn.

Enkele typische waarden voor de luchtdoorlatendheid van eengezinswoningen zijn opgenomen in Tabel 3-2. Voor flatwoningen is met de huidige bouwpraktijk een $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm^3/s realiseerbaar.

Tabel 3-2 Verdeling van de luchtdoorlatendheid bij eengezinswoningen [33]

Luchtdoorlatendheid $q_{v,10}$ -waarde [dm^3/s]	Verdeling (%)		
	Gevels	Vloer	Dak
100	Ca. 30	Ca. 10	Ca. 60
200	Ca. 30	Ca. 15	Ca. 55
600	Ca. 20	Ca. 10	Ca. 70

3.2 Ventilatie afhankelijk van de algemene meteorologische omstandigheden

Voor de berekening van ventilatie afhankelijk van de meteorologische omstandigheden wordt verwezen naar NEN 1087. Hieronder wordt in het kort de invloed van meteorologische omstandigheden op de ventilatie beschreven.

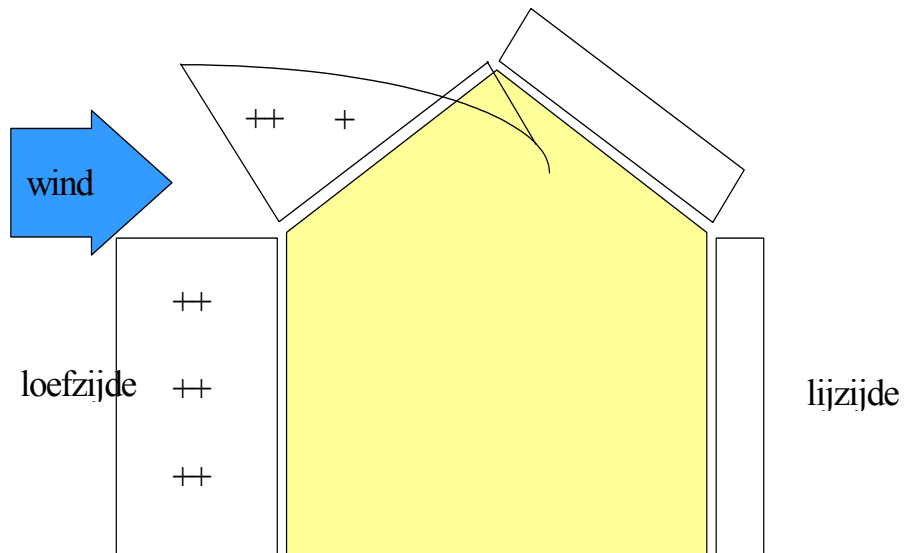
Voor de natuurlijke ventilatie van een gebouw is afhankelijk van de externe meteorologische omstandigheden. Hogere windsnelheid veroorzaakt een grotere ventilatie. Een lage temperatuur heeft een groter temperatuurverschil tussen binnen en buiten ten gevolge, zodat de ventilatie toeneemt.

De natuurlijke ventilatie wordt veroorzaakt en in stand gehouden door:

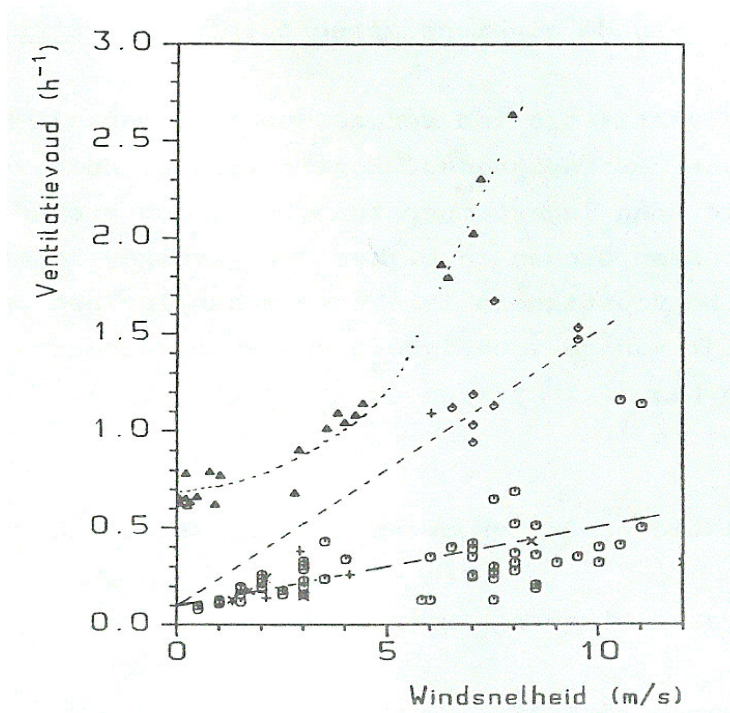
- a) de wind
- b) het temperatuurverschil tussen binnen en buiten.

a) Ventilatie t.g.v de windsnelheid.

Wanneer een horizontale luchtstroom door de verticale wanden van een gebouw tot stilstand wordt gebracht, wordt de snelheidsdruk volledig omgezet in een statische druk. Hierdoor ontstaat een drukverschil tussen de loef- en lijzijde van het gebouw en tussen de buiten- en binnenzijde van het gebouw. De grootte van dit drukverschil is behalve van de windsnelheid tevens afhankelijk van de vorm van het gebouw en de hoek waaronder het wordt aangestroomd. Dit relatief geringe drukverschil (1 - 50 Pa) [4] is voldoende om een ventilatie tot stand te brengen. Infiltratie ten gevolge van de wind vindt plaats aan één zijde van het gebouw. Dit effect is grafisch weergegeven in Figuur 3-2 en Figuur 3-5. Het verschil in druk tussen buiten- en binnenshuis neemt toe met toenemende windsnelheid en derhalve neemt het ventilatievoud eveneens toe. In [6, 7, 9 en 10] zijn metingen gepubliceerd van ventilatievouden afhankelijk van de windsnelheid buitenshuis (Figuur 3-3). Uit Figuur 3-3 volgt dat er een positief verband bestaat tussen het ventilatievoud en de windsnelheid. Dit verband is afhankelijk van het soort huis, de configuratie van kieren en de invalshoek van de wind en derhalve niet eenduidig in een formule te vatten. Voorts blijkt uit metingen dat woningen van voor de oliecrisis van 1973 een duidelijk hogere ventilatievoud vertonen dan daarna.



Figuur 3-2 Luchtdrukverschillen ten gevolge van wind



Figuur 3-3: Verband tussen het ventilatievoud en de windsnelheid.

Amerikaanse metingen uit [7] - 1950.

o Metingen van IMG-TNO - Flatwoning - uit [9] - 1977

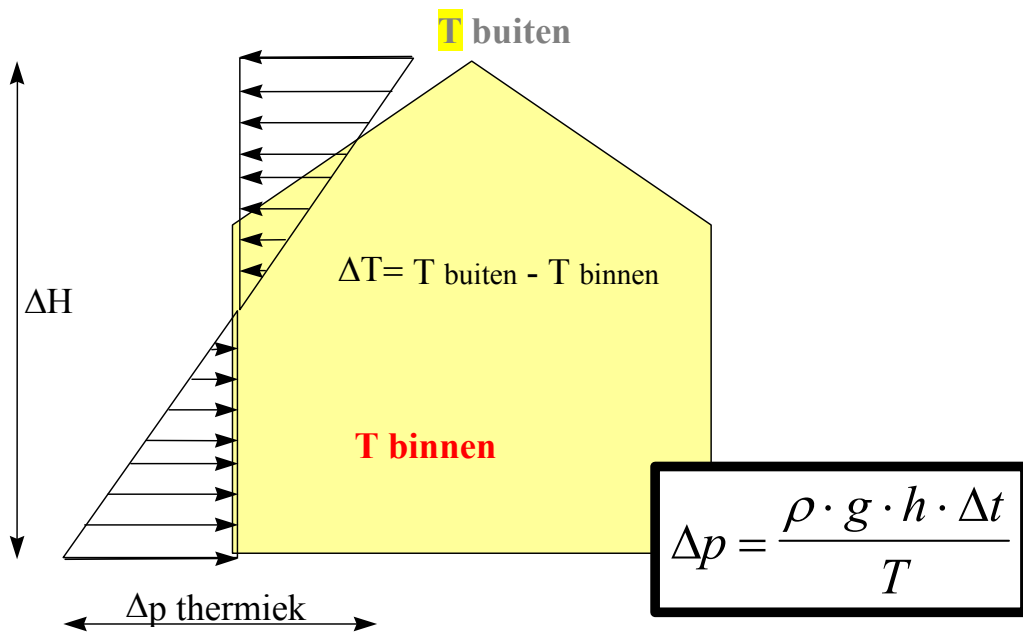
0 Metingen van IMG-TNO - Eengezinswoning - uit [10] - 1979

+ Metingen van PML-TNO - Maisonnette, loefzijde - uit [5] - 1978

x Metingen van PML-TNO - Maisonnette, lijzijde - uit [5] - 1978

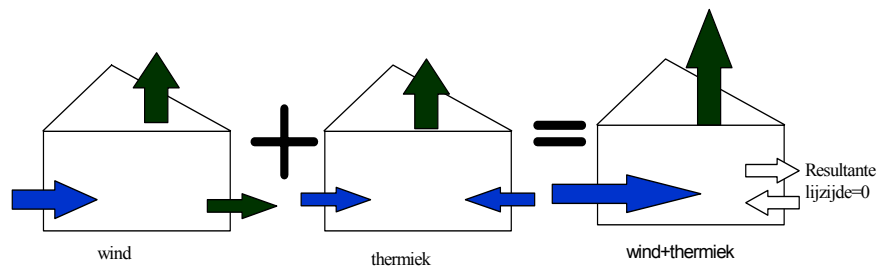
b) Ventilatie t.g.v. temperatuurverschil.

Door een temperatuurverschil tussen binnen- en buitenlucht ontstaat eveneens een drukverschil, waardoor bij een hogere binnentemperatuur de infiltratiesnelheid van de lucht toeneemt en derhalve ook het ventilatievoud. Met name in hoge gebouwen wordt op deze wijze via het trappenhuis en/of de beluchtingskanalen de ventilatie geregeld. Infiltratie ten gevolge van een temperatuurverschil vindt aan twee zijden van een gebouw plaats, in tegenstelling tot infiltratie ten gevolge van wind. Een schematische weergave van het effect van temperatuurverschil op de ventilatie is weergegeven in **Figuur 3-4** en **Figuur 3-5**.



Figuur 3-4 Luchtdrukverdeling door temperatuur

Combinatie van drijvende krachten



Figuur 3-5 Invloed van combinatie van wind en temperatuur op de infiltratie

3.3 Ventilatievoud in woningen

Na de oliecrisis van 1973 werden in vele woningen en gebouwen maatregelen getroffen om de warmteverliezen door ventilatie te reduceren. Een minimum aan ventilatie is om gezondheidsredenen echter noodzakelijk. Referentie [11] concludeert dat voor het verkrijgen van een goed leefmilieu, rekening houdend met een minimaal warmteverlies door ventilatie, een ventilatievoud van 0,5 tot 1 h⁻¹ noodzakelijk is. In het Bouwbesluit is bepaald welk ventilatievoud nodig is afhankelijk van het gebruik van de ruimte.

In Tabel 3-3 zijn enige gemeten ventilatievouden (gemeten na 1973) verzameld.

Tabel 3-3 Ventilatievoud van woningen

Woning	Ventilatievoud (h ⁻¹)	Jaar	Land	Ref.
Flatwoning	0,1 - 0,7	1977	Ned.	9
Maisonnette	0,1 - 0,5	1978	Ned.	5
Eengezinswoning	0,9 - 1,7	1979	Ned.	10
woningen met goede glasisolering	0,3 - 0,8	1983	BRD.	11
voor 80% van het aant. geteste woningen	0,2 - 1,1	1983	DDR.	13

Aan de hand van de gemeten waarden, weergegeven in Figuur 3-3 en Tabel 3-3, kan gesteld worden dat voor goed geïsoleerde moderne woningen met gesloten ramen en deuren het ventilatievoud voor hoogbouw 0,3 tot 0,7 h⁻¹ bedraagt en voor laagbouw 0,5 tot 2 h⁻¹. De afhankelijkheid van het ventilatievoud van de windsnelheid (u) kan benaderd worden met onderstaande empirische formules:

hoogbouw: ventilatievoud = 0,1 + 0,04*u h⁻¹

laagbouw: ventilatievoud = 0,1 + 0,14*u h⁻¹

3.4 Ventilatievoud in openbare gebouwen en bedrijfsruimten.

Ventilatie moet aan minimale eisen voldoen. Er is echter ook een grens aan de maximale ventilatie. Ventilatievouden van 7 a 8 h⁻¹ worden als tocht gevoeld. Tevens zal men door beperking van de ventilatie de warmteverliezen willen verkleinen. Voor ruimten waarin meerdere mensen kunnen vertoeven moet het ventilatievoud aangepast worden aan het aantal personen. Volgens [6] moet per persoon een minimale hoeveelheid verse lucht aangezogen worden van 20 m³/h bij een aanwezige ruimte van 5 m³ per persoon en van 8 m³/h bij een ruimte van 30 m³ per persoon. In openbare gebouwen en in gebouwen waarin over het algemeen meer dan 10 personen verblijven, moet in de meeste gevallen dan ook mechanisch geventileerd worden. In Tabel 3-4, ontleend aan [12], worden

gebruikelijke ventilatievouden voor enige openbare gebouwen en arbeidsruimten gegeven. Voor bedrijfsruimten waarbinnen een emissie van toxische of brandbare gassen plaatsvindt, gelden uiteraard andere normen.

Tabel 3-4: Ventilatievouden voor gebouwen die bestemd zijn voor het verblijf van meerdere personen. (1982)

Ruimte	Ventilatievoud (h^{-1})	Verse luchttoevoer m^3/h per persoon
Restaurants	8 - 12	50 - 70
Theaters		30 - 50
Winkels	4 - 8	
Warenhuizen	6 - 8	
Openbare kantoren	(3)- 6 -(10)	60 - 80
Ziekenhuizen	5 - 10	40 - 100
Overdekte zwembaden	1 - 2	
Kantoorruimten	5 - 7	40 - 60
Werkplaatsen	3 - 8	
Scholen	(3)- 5 - 8	30 - 50
Treinen	15 - 40	

3.5 Opzettelijke ventilatie; "Spuivoorziening"

Bij een spuivoorziening geldt een ventilatievoud van ca. 10, volgens NEN 1087.

Bij open ramen en/of deuren zal het verblijf binnenshuis weinig bescherming bieden tegen contaminanten in de buitenlucht. Deze ventilatie is echter van belang om na het passeren van de toxische wolk zo snel mogelijk de concentratie binnenshuis te verlagen.

Tabel 3-5, ontleend aan [6], geeft aan welke ventilatievouden er optreden bij opzettelijke ventilatie.

Tabel 3-5: Verband tussen ventilatievouden en de instelling van ramen en deuren.

Raam/deur instelling	Ventilatievoud (h^{-1})
Ramen en deuren gesloten	0 - 0,5
Ramen op een kier	0,8 - 4,0
Ramen half open	5 - 10
Ramen geheel open	9 - 15
Ramen en deuren tegen elkaar geopend	40

3.5.1 Ontalarming

Nadat de emissie van de gevaarlijke stof is gestopt, neemt de concentratie binnen, vanwege de voor het schuilen slecht geventileerde woning, langzamer af dan de concentratie buiten. In de loop van de tijd daalt de concentratie buitenshuis beneden de concentratie binnenshuis. Ontalarming moet strikt

genomen op dit moment worden uitgevoerd: niet eerder en ook niet later.

Bij ontalarming wordt geadviseerd om de woning zo goed mogelijk te ventileren door alle ramen en deuren binnenshuis en in de gebouwschil te openen. Na circa 15 minuten is de concentratie binnen dan gelijk aan de concentratie buiten.

3.5.2 Alarmeringstijd

Uit onderzoek met behulp van het ventilatierekenmodel VENCON [33] is gebleken dat het sluiten van de ramen 10 minuten nadat de verontreiniging de gevel heeft bereikt, nauwelijks een verhoging van de concentraties in de woning tot gevolg heeft. Dit heeft te maken met de aangenomen opbouw van het concentratieprofiel aan de gevel. Hieruit kan geconcludeerd worden dat binnen 10 minuten reageren (melding door instanties naar bewoners en sluiten voorzieningen door bewoners) voldoende snel is.

3.6 Adsorptie van gassen aan binnenshuis aanwezige materialen

Bij penetratie van een gas of van deeltjes in een woning komen de contaminanten in aanraking met het materiaal waaruit de woning is opgebouwd en waarmee het is aangekleed. Tengevolge van adhesiekrachten zal het gas of zullen de deeltjes zich hechten aan het oppervlak van deze materialen. Dit proces wordt aangeduid als adsorptie. De oppervlakte-eigenschappen van het materiaal zoals porositeit en vooral de vorm van de poriën spelen hierbij een belangrijke rol. Ook de aard van het gas of van de deeltjes zijn bepalend voor de adsorptie. Tijdens het adsorptieproces wordt het adsorberend oppervlak bezet door gasmoleculen of door deeltjes. Hierdoor wordt het adsorberend oppervlak gereduceerd en loopt de adsorptiesnelheid terug.

De mate van adsorptie - uitgedrukt in een adsorptiefactor (zie paragraaf 4.1) - hangt sterk af van het soort gas. Reactieve gassen adsorberen meer aan het in huis aanwezige materiaal dan inerte gassen.

Voor deeltjes heeft Dockery [14] de volgende adsorptiefactoren (k) gemeten:

- deeltjes kleiner dan 1 μm $k = 0,05 \text{ h}^{-1}$
- deeltjes van de respirabele fractie (2,5-3,5 μm) $k < 0,5 \text{ h}^{-1}$

Resultaten van metingen van adsorptiefactoren voor gassen zijn schaars, daar de adsorptiefactoren zowel van het gas als van het adsorberend materiaal afhangen. In [25, 26] worden enige adsorptiefactoren gegeven voor gassen uit bronnen binnenshuis:

NO	adsorptiefactor	0 - 0,1 h^{-1}
NO ₂	„	0,2 - 1,4 h^{-1}
Formaldehyde	„	0,2 - 0,7 h^{-1}

Voor praktische toepassingen kan de adsorptiefactor voor reactieve gassen zoals b.v. SO₂, NO₂ en O₃ op gemiddeld 0,5 gesteld worden en voor inerte gassen zoals b.v. CO op 0.

Bij langdurige blootstelling aan het gas raakt het adsorberend oppervlak verzadigd. De adsorptiefactoren nemen op de duur af. De mate van afname is wederom afhankelijk van het gas en het adsorberend materiaal. In [5] zijn metingen verricht van adsorptie aan verschillende soorten textiel. Voor een standaardverdeling van wol, nylon en katoen in een woonkamer werd voor een tijdsduur van 90 minuten gevonden, dat de adsorptiefactor omgekeerd evenredig is met de wortel uit de tijd.

3.7 Reductie van de achtergrondconcentratie

Ten gevolge van het verkeer en de emissies door de industrie is er continu een achtergrondconcentratie voor bepaalde contaminanten aanwezig. Uit metingen blijkt dat de binnenconcentratie van gassen en deeltjes afkomstig van die externe min of meer continue bronnen over het algemeen lager is dan de buitenconcentratie. Er is dus sprake van een zekere bescherming door verblijf binnenshuis ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het adsorberend vermogen van de binnenshuis aanwezige materialen, de depositie van deeltjes en de decompositie van gassen. Een veel gebruikte maat om de relatie tussen binnen- en buitenconcentratie aan te duiden is de zogenoemde "indoor-outdoor concentration ratio" C_i/C_o . Het omgekeerde (C_o/C_i) wordt de beschermingsfactor genoemd. Deze maat is echter slechts bruikbaar voor gemiddelde waarden, immers een snelle verandering in C_o , bijvoorbeeld door een verandering van de windrichting, heeft een langzame verandering van C_i ten gevolge en derhalve een grote verandering in de (C_o/C_i). In Tabel 3-6 zijn enkele gemiddelde waarden van metingen van de C_i/C_o verzameld, ontleend aan de referenties [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 en 23]. Het betreft voornamelijk metingen in een grote variëteit van gemeubileerde en bewoonde ruimten, waarbij slechts die waarnemingen meegenomen zijn waarvan vast staat, dat de verontreiniging van externe bronnen afkomstig is. De metingen zijn verricht bij gesloten ramen en deuren en het op normale wijze functioneren van het ventilatiesysteem.

Tabel 3-6: Verhouding van binnen- en buitenconcentratie voor enkele gassen en deeltjes. Gemiddelde van diverse metingen.

Contaminant	C_i/C_o	Referenties
Zwavel dioxide (SO ₂)*	0,1 - 0,5	16,17,19,20,23
Zwavel dioxide (SO ₂)**	0,5 - 0,7	20
Stikstofdioxide (NO ₂)	0,5	23
Ozon (O ₃)	0,2 - 0,5	18,23
Koolmonoxide (CO)	0,6 - 1	19,23
Submicrone deeltjes (Pb,Br)	0,4 - 0,7	21,22,23
Supermicrone deeltjes (Ca,Fe,Zn)	0,1 - 0,4	21,22
* In gebieden met een laag jaargemiddelde SO ₂ -concentratie (kleiner dan 10 kg/m ³).		
** In gebieden met een hoog jaargemiddelde SO ₂ -concentratie (10 - 60 pg/m ³).		

Uit Tabel 3-6 volgt dat het verblijf binnenshuis over het algemeen voor een achtergrondconcentratie van reactieve gassen een beschermingsfactor (C_o/C_i) van ca. 2 geeft. Voor submicrone deeltjes is deze factor ca. 1,5 en voor grotere deeltjes gemiddeld 3.

4 Concentratie binnenshuis

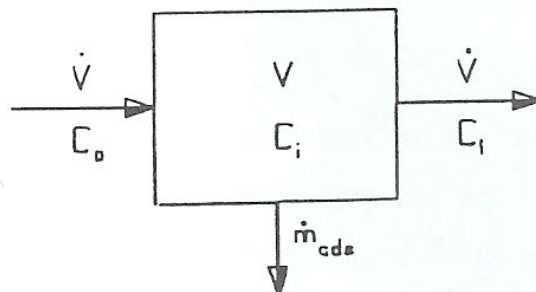
Wordt een gebouw omstroemd door een toxische wolk, dan zal afhankelijk van de mate van uitwisseling van binnen- en buitenlucht (ventilatie), zich binnenshuis een concentratie aan verontreinigde lucht opbouwen. Over het algemeen zal de maximale concentratie binnen lager zijn dan de maximale concentratie buiten het gebouw. Dit komt omdat de buitenlucht steeds met de aanvankelijk schone lucht binnen het gebouw wordt vermengd. Tevens treedt er adsorptie van het verontreinigende gas of van deeltjes op aan het in het gebouw aanwezige adsorberend materiaal. Na het passeren van de wolk blijft de binnenconcentratie relatief hoog. Voor optimale bescherming is het nodig, dat direct na het passeren van de wolk geventileerd wordt.

Het ventilatievoud en dus ook de maximale concentratie is in vertrekken aan de loefzijde van het gebouw het grootst. Vertrekken aan de lijzijde van het gebouw betrekken hun verse lucht voornamelijk uit de meer aan de loefzijde gelegen vertrekken. Aan de lijzijde van het gebouw zal dan ook een betere bescherming te verwachten zijn. Zie hiervoor hoofdstuk 5.

4.1 Het één-kamer model

Bij de opstelling van een mathematisch model voor de penetratie van een gaswolk in een vertrek is uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

- Binnen het vertrek vindt ideale menging plaats van de ventilatielucht met de aanwezige lucht. Hoewel door sommige onderzoekers grote verschillen in ventilatievoud in een vertrek gemeten zijn [12], hebben Leach en Bloomfield [15] aan de hand van een diffusiemodel aangetoond en gemeten dat de concentratieverdeling over het algemeen homogeen is. In [27] wordt gesteld dat door interne convectieve menging ook zwaar gas zich homogeen in het gebouw verspreidt.
- Het adsorberend oppervlak is constant en er vindt geen desorptie plaats.



Figuur 4-1 Schematische voorstelling van een geventileerde ruimte waarin adsorptie optreedt.

In Figuur 4-1 is schematisch een kamer aangegeven, die rechtstreeks door de buitenlucht geventileerd

wordt en waarin adsorptie plaatsvindt. Een luchtstroom met een concentratie aan contaminanten C_o treedt binnen in een ruimte met een inhoud V waarin een concentratie C_i heerst. Een luchtstroom \dot{V} met een concentratie aan contaminanten C_o treedt binnen in een ruimte met een inhoud V waarin een concentratie C_i heerst. Er vindt een adsorptieverlies \dot{m}_{ads} plaats, waarna de luchtstroom het vertrek weer verlaat met een concentratie C_i . De massabalans van dit systeem bestaat uit de volgende relatie:

$$\dot{V} * C_o * dt = V * dC_i + \dot{m}_{ads} dt + \dot{V} * C_i * dt \quad (1)$$

of

$$\dot{V} * C_o * dt = V * dC_i + v_{ads} * A_{ads} * C_i * dt + \dot{V} * C_i * dt \quad (2)$$

waarin:

- \dot{V} : binnenkomende luchtstroom (m^3/s)
- C_o : concentratie in de buitenlucht (kg/m^3)
- t : tijd (s)
- V : inhoud van het vertrek (m^3)
- \dot{m}_{ads} : de adsorptieverliesstroom (kg/s)
- v_{ads} : adsorptiesnelheid (m/s)
- A_{ads} : adsorberend oppervlak (m^2)
- C_i : concentratie in het vertrek (kg/m^3)

Voorts is:

$$\dot{n}_v = \frac{\dot{V}}{V} = \text{ventilatiefrequentie (s}^{-1}\text{)}$$

$$\dot{n}_a = \frac{v_{ads} * A_{ads}}{V} = \text{adsorptiefrequentie (s}^{-1}\text{)}$$

$$\dot{n}_{va} = \dot{n}_v + \dot{n}_a \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

NB. Met de termen ventilatiefrequentie en adsorptiefrequentie, beide gemeten in s^{-1} , wordt onderscheid gemaakt met de gebruikelijke begrippen ventilatievoud en adsorptiefactor, die beide in h^{-1} uitgedrukt worden.

De oplossing van de differentiaalvergelijking met randvoorwaarde $C_i = 0$ als $t = 0$ is:

$$C_i(t) = \dot{n}_v \int_0^t C_o(t') * \exp(-\dot{n}_{va}(t-t')) dt' \quad (3)$$

Voor verschillende tijdsafhankelijke buitenconcentraties kan met (3) de binnenconcentratie berekend worden. De buitenconcentratie kan berekend worden met behulp van formules uit hoofdstuk 4 van PGS 2 (het 'gele boek') [1].

4.2 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe continue bron.

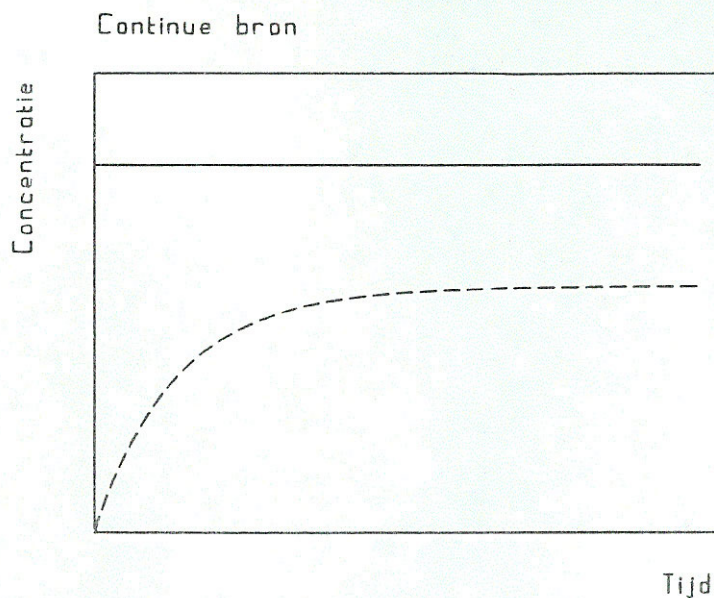
In geval van een externe continue bron wordt de concentratie aan de buitenkant van een woning op afstand x vanaf de bron benaderd met een sprongfunctie

$$C_o = 0 \quad \text{voor } t < 0$$
$$C_o = C_o(x) \quad \text{voor } t \geq 0$$

Volgens (3) wordt de concentratie binnenshuis dan gegeven door:

$$C_i(t) = \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * C_o * (1 - \exp(-\dot{n}_{va} * t)) \quad (5)$$

Een voorbeeld van het concentratieverloop binnenshuis ten gevolge van een externe continue bron wordt weergegeven in Figuur 4-2. Bij dit voorbeeld is de verhouding ventilatievoud/adsorptiefactor gelijk aan 2.



Figuur 4-2: Buiten- (-) en binnen- (---) concentratie afhankelijk van de tijd voor een continue constante emissie.

Bij een constante adsorptie wordt de binnenconcentratie op den duur gelijk aan:

$$C_i = \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * C_o \quad (6)$$

en de concentratiereductie (CR) (zie paragraaf 4.3) gelijk aan:

$$CR = \frac{C_o - C_i}{C_o} = 1 - \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} \quad (6a)$$

Bij het verzadigd raken van het adsorberend oppervlak wordt de binnenconcentratie gelijk aan de buitenconcentratie.

Voor de aanloopverschijnselen kan uit (5) bepaald worden na hoeveel tijd een bepaalde verhouding tussen binnenconcentratie en buitenconcentratie bereikt wordt. Bij een concentratieverhouding C_i/C_o geldt voor die tijd t^* :

$$t^* = -\frac{1}{\dot{n}_{va}} * \ln\left(1 - \frac{\dot{n}_{va}}{\dot{n}_v} * \frac{C_i}{C_o}\right) \quad (7)$$

4.3 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe tijdelijke bron

Onder een tijdelijke bron wordt hier verstaan een constante emissie van een neutraal gas gedurende een korte periode, die evenwel langer is dan de reistijd van de wolk naar de woning. De concentratie bij de woning wordt weer berekend met (4). De buitenconcentratie wordt nu benaderd met een blokfunctie:

$$\begin{aligned} C_o &= 0 && \text{voor } t < 0 \\ C_o &= C_o(x) && \text{voor } 0 \leq t \leq t_1 \\ C_o &= 0 && \text{voor } t > t_1 \end{aligned}$$

Hierbij is x de afstand van de woning tot de bron en t_1 de passagetijd. De passagetijd kan berekend worden met behulp van formules uit PGS 2, het 'gele boek'.

De tijd t wordt gemeten vanaf de aankomst van de wolk bij de woning, in dit geval dus x/u seconden na het begin van de emissie.

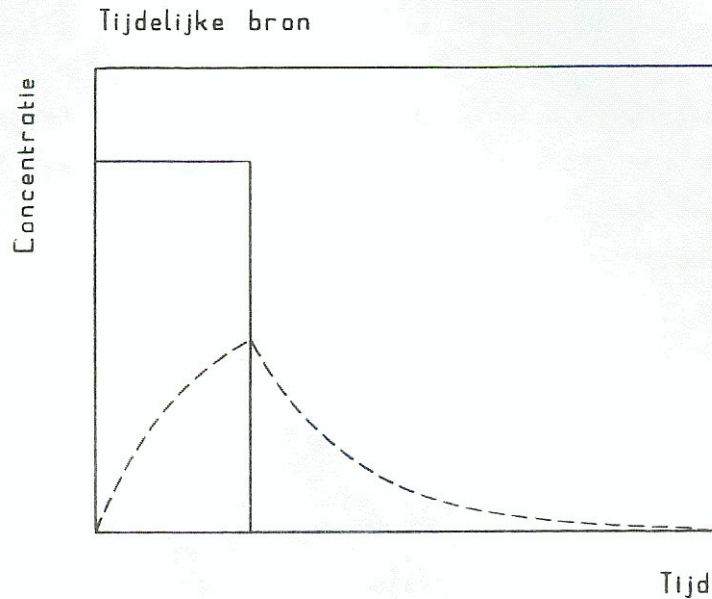
Volgens (3) wordt de binnenconcentratie gegeven door:

$$C_i(t) = \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * C_o * (1 - \exp(-\dot{n}_{va} * t)) \quad \text{voor } t \leq t_1 \quad (8a)$$

en

$$C_i(t) = \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * C_o * (\exp(-\dot{n}_{va} * t) - 1) * \exp(-\dot{n}_{va} * t) \quad \text{voor } t > t_1 \quad (8b)$$

Een voorbeeld van het concentratieverloop binnenshuis t.g.v. van een externe tijdelijke bron wordt weergegeven in Figuur 4-3. Bij dit voorbeeld is de verhouding ventilatievoud/adsorptiefactor gelijk aan 2.



Figuur 4-3: Buiten- (-) en binnen- (---) concentratie afhankelijk van de tijd voor een tijdelijke constante emissie.

De maximale waarde van de binnenconcentratie wordt bereikt op het tijdstip t_1 en wordt berekend met (8a) waarbij $t = t_1$. De maximale binnenconcentratie gedeeld door de maximale buitenconcentratie is een maat voor de te verwachten reductie in de piekconcentratie door verblijf binnenshuis. Deze wordt gegeven door:

$$\frac{C_{i,\max}}{C_{o,\max}} = \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * (1 - \exp(-\dot{n}_{va} * t_1)) \quad (9)$$

Wordt de concentratiereductie gedefinieerd als de relatieve verlaging van de maximale binnenconcentratie t.o.v. de maximale buitenconcentratie, dan wordt de concentratiereductie (CR) gegeven door:

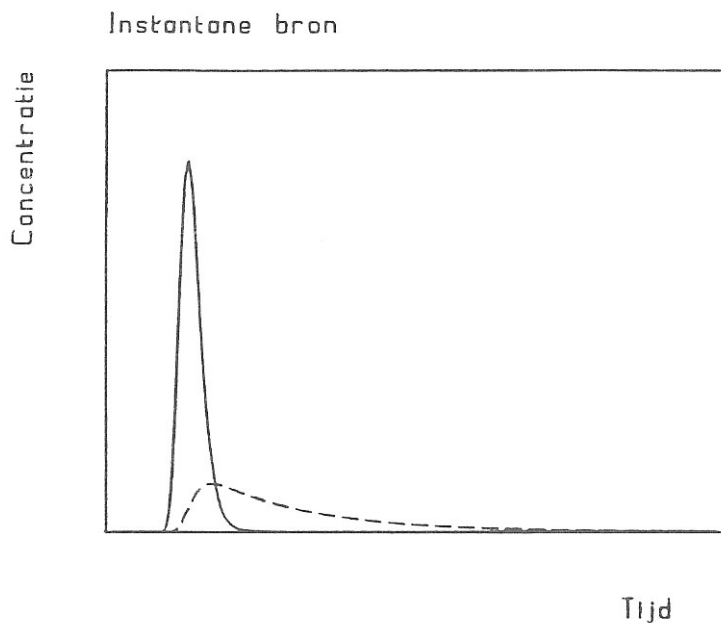
$$CR(t_1) = \frac{C_{o,\max} - C_{i,\max}}{C_{o,\max}} = 1 - \frac{\dot{n}_v}{\dot{n}_{va}} * (1 - \exp(-\dot{n}_{va} * t_1)) \quad (9a)$$

Voor de berekening van de probitdosis en de dosisreductie wordt verwezen naar deel 4 van PGS 1.

4.4 De concentratie binnenshuis t.g.v. een externe instantane bron.

De binnenconcentratie ten gevolge van een externe instantane bron kan berekend worden m.b.v. (3), waarbij de concentratie buitenshuis als functie van afstand en tijd berekend kan worden met behulp van de formules voor gaswolkdispersie uit PGS 2 [1].

Een voorbeeld van het concentratieverloop binnenshuis ten gevolge van een externe instantane bron wordt weergegeven in Figuur 4-4. Bij dit voorbeeld is de verhouding ventilatievoud/adsorptiefactor gelijk aan 2.



Figuur 4-4: Binnen (---) en buiten (-) concentratie afhankelijk van de tijd voor een instantane bron.

De maximale binnenconcentratie wordt bereikt als de buitenconcentratie lager wordt dan de binnenconcentratie. Voor de berekening van de probitdosis en de dosisreductie wordt verwezen naar deel 4 van PGS 1.

4.5 Rekenvoorbeeld bij paragraaf 4.3

Berekening van de maximale concentratie binnenshuis bij een tijdelijke emissie.

Gegeven is een emissie uit een puntbron, gedurende ongeveer een uur, die ter hoogte van een woonhuis op 500 m afstand een buitenconcentratie van $0,0008 \text{ kg/m}^3$ veroorzaakt. Het ventilatievoud van dit huis bedraagt gemiddeld 1 h^{-1} en de adsorptiefactor mag op $0,5 \text{ h}^{-1}$ gesteld worden.

Gevraagd de maximale concentratie binnenshuis te berekenen als na het passeren van de wolk nog een uur gewacht wordt, alvorens geventileerd wordt.

Berekening:

De maximale concentratie binnenshuis wordt bereikt 1 h na de aankomst van de wolk.

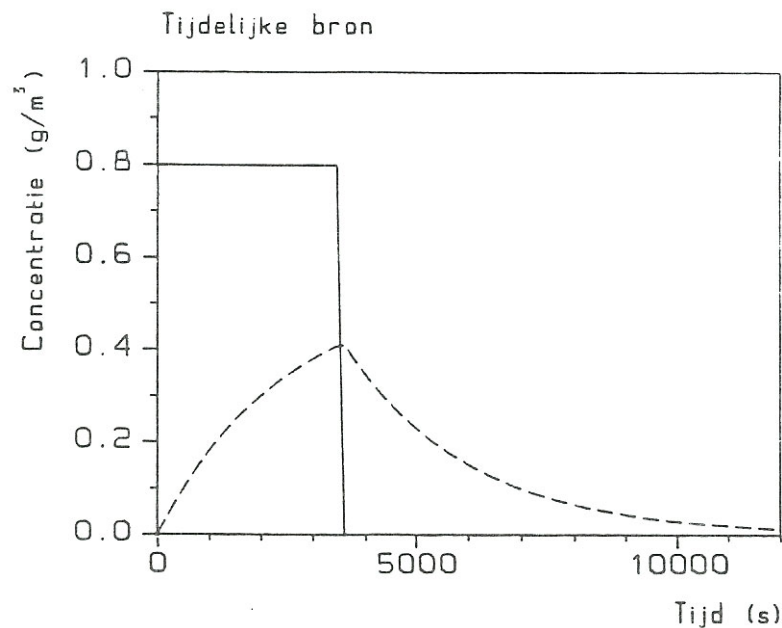
De ventilatiefrequentie is: $\dot{n}_a = 1/3600 = 0,00028 \text{ s}^{-1}$

De adsorptiefrequentie is: $\dot{n}_a = 0,5/3600 = 0,00014 \text{ s}^{-1}$

De maximale binnenconcentratie wordt volgens (8a)

$$C_{i,\max} = \frac{0,00028}{0,00042} * 0,0008 * (1 - \exp(-0,00042 * 3600)) = 0,0004 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Het concentratie - tijdverloop van dit rekenvoorbeeld wordt weergegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-5: Buiten (-) en binnen (---) concentratie afhankelijk van de tijd voor de tijdelijke constante emissie van rekenvoorbeeld 4.5.1.

4.6 Het meer-kamer model: ventilatierekenmodel VENCON

Naast het één-kamer model dat in de voorgaande paragrafen behandeld is, bestaan er ook meer-kamer modellen. Vanwege de uitgebreidere mathematische vergelijkingen die deze modellen bevatten,

zijn van de meer-kamer modellen veelal computerrekenmodellen gemaakt. Eén van deze computermodellen is het ventilatierekenmodel VENCON, ontwikkeld door TNO-Bouw. Met het ventilatiemodel VENCON kan het concentratieverloop in een gebouw doorgerekend worden indien het concentratieverloop aan de buitenzijden van het gebouw bekend is. Hieronder wordt het ventilatierekenmodel kort beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving van het ventilatierekenmodel VENCON wordt verwezen naar [34].

Door TNO-Bouw is een rekenmodel ontwikkeld waarmee een gebouw ventilatietechnisch gemodelleerd kan worden. Hiertoe wordt een netwerk opgezet waarin alle verbindingen tussen verschillende ruimten in het gebouw en met buiten worden opgegeven. Met verbindingen worden zowel bedoelde (ventilatieopeningen) als onbedoelde (luchtdoorlatendheid van constructie) verbindingen bedoeld. Vervolgens kan het ventilatiemodel de ventilatiestromen door deze verbindingen onder invloed van windaanval en thermiek berekenen, waarmee het totale ventilatiepatroon (interne luchtstromingen en luchtinfiltratie van buiten) is vastgelegd.

De windaanval wordt gesimuleerd door het opgeven van winddrukcoëfficiënten op verschillende posities van de gebouwschil. Een winddrukcoëfficiënt is een dimensieloze parameter die vermenigvuldigd met de windsnelheid de lokaal optredende onder- of overdruk geeft. De thermiek wordt bepaald op basis van de ingevoerde vertrektemperaturen en buitentemperatuur en de hoogteverschillen tussen de diverse openingen van het opgezette netwerk.

In het ventilatiemodel kan een concentratieverloop in de tijd aan de buitenschil van het gebouw (aan verschillende zijden) gesimuleerd worden, zoals deze in geval van calamiteiten op kan treden. Het ventilatiemodel berekent vervolgens op basis van het berekende ventilatiepatroon de concentratieopbouw in de tijd in de verschillende vertrekken van het gebouw. Hierbij wordt steeds uitgegaan van volledige opmenging. Het is mogelijk met het model adsorptie te simuleren.

4.7 Simulaties met ventilatierekenmodel VENCON

Met het ventilatierekenmodel VENCON zijn simulaties uitgevoerd met als doel inzicht te geven in het optredende verontreinigingsniveau in (de verschillende vertrekken in) woningen bij calamiteiten, afhankelijk van diverse parameters.

De simulaties zijn beschreven in [33] en opgenomen in Bijlage 2 t/m Bijlage 4. De uitkomsten van de simulaties geven inzicht in hoe het best gehandeld dient te worden in geval van calamiteiten. Dit is beschreven in hoofdstuk 5.

De concentratie binnenshuis is berekend als percentage van de concentratie buiten. Of de vastgestelde concentratiereductie binnenshuis voldoende is om veilig binnen te kunnen schuilen zal derhalve voor ieder afzonderlijk incident vastgesteld dienen te worden.

Variabelen die in de ventilatie berekeningen zijn meegenomen, zijn:

- Het aan of uit zijn van het ventilatiesysteem in combinatie met het afplakken van de afvoerroosters;
 - De windsnelheid;
 - De luchtdoorlatendheid van de woning;
-

- Scenario concentratie buiten;
- Gebouwtype.

Voor de buitenconcentratie van de gevaarlijke stof is uitgegaan van een kort en een lang scenario. Aangezien er in de resultaten met betrekking tot de effectiviteit van de verschillende maatregelen geen grote verschillen bestaan tussen het korte en het lange scenario gaat deze paragraaf alleen in op het lange scenario. Bij het lange scenario is binnen 15 minuten de maximale buitenconcentratie bereikt. Deze houdt gedurende 5 uur aan en neemt vervolgens weer in 15 minuten af tot nul.

Voor het simulatieonderzoek van TNO is uitgegaan van 15 K temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Dit is een conservatieve aanname welke met name in de winter van toepassing zal zijn. Onder zomerse omstandigheden zal het temperatuurverschil kleiner zijn. Hierdoor zal ook de invloed van het schoorsteeneffect, en daarmee de infiltratie van gevaarlijke stoffen afnemen.

Met betrekking tot de effectiviteit van het uitzetten en/of afplakken van de afvoerroosters zijn drie situaties onderscheiden:

- AAN: mechanische ventilatie staat nog aan ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$ en $21 \text{ dm}^3/\text{s}$)
- UIT: mechanische ventilatie is uitgeschakeld. De ventilator staat uit maar het kanalsysteem staat nog in open verbinding met buiten (lekoppervlakte 210 cm^2).
- DICHT: kanalsysteem is afgeplakt. Deze situatie is vergelijkbaar met het natuurlijke ventilatiesysteem met afvoer afgeplakt.

N.B. alle toevoorzieningen (ramen en deuren) zijn gesloten verondersteld.

Adsorptie is niet beschouwd in de simulaties.

Aan de negatieve effecten van het niet ventileren, zoals het oplopen van de CO_2 concentraties binnenshuis, wordt aandacht besteed in hoofdstuk 5.

De resultaten van de simulaties zijn voor verschillende woningtypen weergegeven in de onderstaande paragrafen. De tabellen zijn overgenomen uit [35] en zijn gebaseerd op de simulaties beschreven in [33]. Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de optredende effecten wordt verwezen naar [33]. De resultaten (C_i/C_o : de verhouding tussen de concentratie binnen en buiten) per ruimte worden gegeven voor verschillende maatregelen en windsnelheden, en voor de tijdstippen van 1 uur na aanvang van de blootstelling en de eindwaarde na $5 \frac{1}{4}$ uur.

Schematische weergaven van de gemodelleerde woningen zijn gegeven in Bijlage 3. In Bijlage 4 zijn de resultaten van de berekeningen met VENCON opgenomen in de vorm van grafieken die het concentratieverloop binnenshuis als functie van de tijd laten zien voor de verschillende gemodelleerde situaties.

4.7.1 Portiekwoning (flatwoning)

Voor de portiekwoning (flatwoning), die in het algemeen meer luchtdicht zal zijn dan een ééngezinwoning, is uitgegaan van een gemiddelde luchtdichtheid van portiek- en flatwoningen ($q_{v,10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$). In Bijlage 3 wordt de lay-out van de gekozen portiekwoning gegeven. De resultaten worden gegeven voor de woonkamer (referentie ruimte) en een slaapkamer aan de lizijde (slaapkamer 3) en de inpandige badkamer. Voor deze laatste twee ruimten is gekozen omdat op voorhand werd geschat dat daar de concentraties het laagst zouden zijn.

Tabel 4-1 Concentratie binnen/buiten (%) voor portiekwoning, windsnelheid 2 m/s.

	Woonkamer		Slaapkamer 3 (lijzijde)		Badkamer (inpandig)	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
natuurlijke ventilatie open	24	85	37	92	9	74
mechanische ventilatie aan (21 dm ³ /s)	21	78	36	90	15	85
mechanische ventilatie uit	9	40	6	31	2	27
mechanische of natuurlijke afvoerkanalen afgeplakt	5	27	1	14	0	6

Het uitzetten van de mechanische ventilatie en het afplakken van de afvoerkanalen heeft bij een windsnelheid van 2 m/s een gunstig effect op het uiteindelijke concentratieniveau in alle beschouwde ruimten. Het uitzetten van de mechanische ventilatie geeft een factor 2 tot 3 lagere concentratie ten opzichte van de buitenconcentratie voor de situatie na 5 uur blootstelling. Na 1 uur blootstelling is de maatregel nog gunstiger. Het afplakken van de roosters geeft nog eens een extra reductie met een factor 2 tot 5. De laagste concentratie bij afgeplakte roosters is in de inpandige badkamer. Ten opzichte van de woonkamer is de concentratie bij uitgeschakelde en afgeplakte ventilatie hier een factor 5 lager.

Tabel 4-2 Concentratie binnen/buiten (%) voor portiekwoning, windsnelheid 5 m/s

	Woonkamer		Slaapkamer (lijzijde)		Badkamer (inpandig)	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
natuurlijke ventilatie open	34	92	35	90	21	91
mechanische ventilatie aan (42 dm ³ /s)	42	97	54	98	40	99
mechanische ventilatie aan (21 dm ³ /s)	28	85	19	69	18	86
mechanische ventilatie uit	21	74	4	54	5	57
mechanische of natuurlijke afvoerkanalen afgeplakt	17	64	5	56	1	14

Bij een windsnelheid van 5 m/s is de effectiviteit van het uitzetten van de mechanische ventilatie minder groot (Kornaat 1999). In de aan de zijde gelegen slaapkamer 3 geeft het afplakken van de afvoerkanalen zelfs een hoger concentratieniveau ten opzichte van het alleen uitschakelen. De badkamer blijft zijn effect houden en blijft de ruimte met de laagste concentratie. Hierbij is het wel van belang dat de roosters worden afgeplakt.

Uit bovenstaande kan worden afgeleid dat het uitzetten van het mechanisch ventilatiesysteem en/of het afplakken van de ventilatieroosters voor zowel een flatwoningen met een mechanisch ventilatiesysteem (63% van de bestaande flats, 78% van de nieuwe flats) als voor flatwoningen met een natuurlijk ventilatiesysteem (37% van de bestaande flats, 20% van de nieuwe flats) een effectieve maatregel is. In een inpandige ruimte (zonder werkende afzuiging) blijft de concentratie het laagst.

4.7.2 Eengezinswoningen

Eengezinswoningen zijn in de regel minder luchtdicht dan portiekwoningen. Dit heeft tot gevolg dat het afsluiten van de ventilatievoorziening minder effect heeft op de concentratieopbouw binnenshuis. Voor de luchtdichtheid is uitgegaan van de gemiddelde luchtdichtheid van ééngesinswoningen ($q_{v,10} = 200 \text{ dm}^3/\text{s}$). In Bijlage 3 wordt de lay-out van de gekozen ééngesinswoning gegeven.

Tabel 4-3 Concentratie binnen/buiten (%) voor de ééngesinswoning, windsnelheid 2 m/s.

	Woonkamer		Slaapkamer loefzijde (1)		Slaapkamer lijzijde (3)		Badkamer	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
natuurlijke ventilatie open	35	94	24	77	30	85	40	92
mechanische ventilatie aan ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$)	30	91	22	73	25	79	30	88
mechanische ventilatie uit	25	91	19	67	20	69	20	71
mechanische of natuurlijke afvoerkanalen afgeplakt	23	90	18	64	17	63	16	62

Bij een windsnelheid van 2 m/s heeft het nemen van maatregelen nagenoeg geen effect op het concentratieniveau (eindwaarde) in de woonkamer. Voor de overige ruimten heeft het nemen van maatregelen een positief effect. Voor woningen met een natuurlijk ventilatiesysteem is het effect het grootst. Ook hier is de conclusie dat de woonkamer niet de meest aangewezen ruimte is om te schuilen. De op de eerste verdieping gelegen slaapkamers geven een betere bescherming. Of de slaapkamer aan de loef- of lijzijde is gelegen maakt vrijwel niets uit omdat aan beide zijden van de woning infiltratie van de verontreinigde lucht zal optreden.

Tabel 4-4 Concentratie binnen/buiten (%) voor de ééngesinswoning, windsnelheid 5 m/s.

	Woonkamer		Slaapkamer loefzijde (1)		Slaapkamer lijzijde (3)		Badkamer	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
natuurlijke ventilatie open	43	97	37	92	23	76	52	97
mechanische ventilatie aan ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$)	41	96	36	91	20	70	47	96
mechanische ventilatie aan ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$)	34	93	33	89	5	47	25	92
mechanische ventilatie uit	30	89	32	87	6	56	10	76
mechanische of natuurlijke afvoerkanalen afgeplakt	28	87	31	86	6	58	5	58

Bij een windsnelheid van 5 m/s blijkt dat de concentratie het laagst blijft in de aan de lijzijde gelegen slaapkamer. Door de toegenomen windsnelheid zal in deze ruimte geen infiltratie van verontreinigde lucht van buiten meer optreden maar juist exfiltratie. De bescherming is ongeveer gelijk aan de situatie

bij een windsnelheid van 2 m/s. De beste bescherming wordt in dit geval bereikt indien de ventilatie in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) blijft doordraaien. Het uitschakelen en zelfs het afplakken zorgt voor een iets hogere concentratie. Dit effect wordt veroorzaakt doordat naast de aan de lijkzijde gelegen slaapkamer (zonder afvoerroosters) de badkamer ligt (met afvoerroosters). Door het uitzetten van de mechanische ventilatie en het afplakken van de afvoerroosters zal de verontreinigde lucht niet meer voornamelijk via de badkamer worden afgevoerd, maar ook via de naastgelegen slaapkamer waardoor de concentratie daar toeneemt. Bij de overige ruimten treedt dit effect niet op.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat bij woningen met een mechanisch ventilatiesysteem (38% van de bestaande woningen, 78% van de nieuwe woningen) het uitzetten van het ventilatiesysteem en het afplakken van de afvoerroosters voor de op de eerste verdieping aan de lijkzijde gelegen kamers (slaapkamer 3 en badkamer) een effectieve maatregel is. Voor de aan de lijkzijde gelegen slaapkamer blijkt echter wel dat de effectiviteit afhankelijk is van de windsnelheid aangezien bij het afplakken van de roosters bij hogere windsnelheid de concentratie hoger wordt dan bij de ventilatie aan in laagstand.

Bij woningen met een natuurlijk ventilatiesysteem (62% van de bestaande woningen, 20% van de nieuwe woningen) blijkt het afplakken van de ventilatieroosters voor met name de op de eerste verdieping aan de lijkzijde gelegen kamers een effectieve maatregel te zijn.

Het sluiten van de ramen 10 minuten na het arriveren van de wolk resulteert maar in 2-3% hogere concentraties binnenshuis dan bij arriveren van de wolk bij gesloten ramen (bij de voor de simulatie gekozen snelheid van toename van de concentratie buitenshuis).

4.7.3 De invloed van windsnelheid op de effectiviteit van de maatregelen

Uit de berekeningen voor de flat- en eengezinswoning blijkt dat de windsnelheid van invloed is op de effectiviteit van de maatregelen. Daarom zijn er voor de eengezinswoning ook extra berekeningen uitgevoerd voor meerdere windsnelheden voor het scenario waarbij de mechanische ventilatie is uitgeschakeld (2; 3,5; 5 en 8,5 m/s). Uit de berekeningen blijkt dat de effectiviteit van de maatregelen voor met name de meest gunstige ruimte (de slaapkamer aan de lijkzijde) sterk wordt beïnvloed door de windsnelheid. Algemeen kan worden gesteld dat bij hogere windsnelheden ($> 5 \text{ m/s}$) de effectiviteit van het uitzetten en afplakken van de mechanische ventilatie snel afneemt. Bij lagere windsnelheden ($< 5 \text{ m/s}$) kunnen er omkeereffecten optreden in de drijvende krachten (temperatuur en wind). De meest gunstige situatie treedt op als in de aan de lijkzijde gelegen slaapkamer juist exfiltratie optreedt. De toevoer van verontreinigde lucht naar deze kamer vindt dan plaats via de andere ruimten in de woning. Er is dan geen directe toevoer van verontreinigde lucht van buiten. De windsnelheid waarbij dit optreedt is niet op voorhand aan te geven. In de VENCON-simulaties vindt dit effect plaats bij ongeveer 3,5 m/s. Bij hogere windsnelheden zal er een sterkere infiltratie in de aan de loefzijde gelegen ruimten plaatsvinden waardoor de concentratieopbouw sneller zal gaan. Bij lagere windsnelheden zal ook aan de lijkzijde gelegen kamers infiltratie optreden.

Tabel 4-5 De invloed van de windsnelheid op de concentratie binnen/buiten (%) in een ééngezinswoning waarvan de mechanische installatie is uitgeschakeld.

Wind snelheid	Woonkamer		Slaapkamer 1 loefzijde		Slaapkamer 3 lijzijde		Badkamer	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
2	25	91	19	67	20	69	20	71
3,5	26	89	24	77	4	36	5	58
5	30	89	32	87	6	56	10	76
8,5	40	95	47	96	14	83	23	94

4.7.4 De invloed van de luchtdoorlatendheid van de woning

Uit de vergelijking van de dichte flatwoning ($q_{v,10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$) en de ééngezinswoning ($q_{v,10}=200 \text{ dm}^3/\text{s}$) blijkt dat de effectiviteit van het schuilen bij een incident afhankelijk is van de luchtdoorlatendheid van de woning. Omdat met name woningen gebouwd tussen 1945 en 1975 vanwege de bouwmethodiek minder luchtdicht kunnen zijn ($q_{v,10} > 600 \text{ dm}^3/\text{s}$) zijn ook enkele ventilatieberekeningen uitgevoerd voor de ééngezinswoning voor een woning met een $q_{v,10}$ van $600 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hierbij is uitgegaan van het scenario waarbij de mechanische ventilatie aan staat. De windsnelheid bedraagt 5 m/s . In Tabel 4-6 is de binnenconcentratie gegeven voor verschillende ruimten van de ééngezinswoning bij een $q_{v,10}$ van 200 en $600 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hieruit blijkt dat met name de effectiviteit van het schuilen in de woonkamer sterk afneemt bij een grotere luchtdoorlatendheid van de woning. De slaapkamer aan de lijzijde blijft de hoogste bescherming bieden.

Tabel 4-6 De invloed de luchtdoorlatendheid op de concentratieopbouw (als concentratie binnen/buiten, in %), mechanische afzuiging bedraagt $42 \text{ dm}^3/\text{s}$.

	Woonkamer		Slaapkamer 1 loefzijde		Slaapkamer 3 lijzijde		Badkamer	
	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde	1 uur	eind waarde
$q_{v,10} = 200 \text{ dm}^3/\text{s}$	41	96	36	91	20	70	47	96
$q_{v,10} = 600 \text{ dm}^3/\text{s}$	60	100	58	99	26	81	71	99

De snelheid waarmee de concentratie binnen stijgt naar het niveau van buiten wordt behalve door de luchtdoorlatendheid ook bepaald door het volume van de woning.

5 Bescherming en beschermingsmaatregelen

De mate van bescherming tegen contaminanten buitenshuis die bereikt wordt door verblijf binnenshuis, wordt bepaald door:

1. de duur van de emissie;
2. de passagetijd van de wolk;
3. het ventilatiesysteem en gebruik daarvan;
4. luchtdoorlatendheid van het gebouw;
5. de adsorptie van de gassen aan het in huis aanwezige materiaal;
6. de depositie van deeltjes;
7. het ventilatie-uitstel;
8. de meteocondities.

De bescherming binnenshuis kan vergroot worden door het verkorten van het ventilatie- uitstel, het verkleinen van het ventilatievoud of het vergroten van de adsorptie. Bij het accidenteel vrijkomen van gassen kan alleen via het verkleinen van het ventilatievoud en/of het verkorten van het ventilatie-uitstel een grotere bescherming verkregen worden. Ook het schuilen in de kamer met het meest gunstige concentratieverloop (veelal aan de lijszijde van het gebouw) geeft extra bescherming.

Uit simulatieberekeningen van TNO [33] blijkt dat het sluiten van de ramen 10 minuten nadat de verontreiniging de gevel heeft bereikt, nauwelijks een verhoging van de concentraties in de woning tot gevolg heeft. Binnen 10 minuten reageren (melding door instanties naar bewoners en sluiten voorzieningen door bewoners) is dus voldoende snel, aldus TNO in haar rapport. Dit heeft te maken met de aangenomen opbouw van het concentratieprofiel aan de gevel.

Verlagen van ventilatievoud

Het afschakelen van de mechanische ventilatie en het afplakken van de ventilatieopeningen vertraagt meestal de stijging van de concentratie binnenshuis.

Uit de beschikbare informatie kan voor zowel woningen met een natuurlijk ventilatiesysteem als woningen met een mechanisch ventilatiesysteem worden geconcludeerd dat het uitzetten van het mechanisch ventilatiesysteem en/of het afplakken van de ventilatieroosters over het algemeen een effectieve maatregel is om de concentratie binnen ten tijde van een incident zo laag mogelijk te houden. Of de maatregel gedurende een incident effectief genoeg of noodzakelijk is, hangt in sterke mate af van de stof die vrijkomt, de te verwachten buitenconcentratie en de blootstellingsduur. Algemeen kan worden gesteld dat bij hogere windsnelheden (> 5 m/s) de effectiviteit van het uitzetten en afplakken van de mechanische ventilatie snel afneemt.

Kiezen van meest effectieve schuilruimte

De effectiviteit van het uitzetten van de mechanische ventilatie en/of het afplakken van de afvoerkanalen wordt in sterke mate bepaald door de luchtdoorlatendheid van de woning, de windsnelheid en de ruimte die wordt gekozen om in te schuilen.

De meest optimale bescherming treedt op bij een dichte woning ($q_{v,10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$) met een inpandige ruimte (bij voorkeur zonder afvoerrooster) en een windsnelheid waarbij aan de aan de lijszijde gelegen ruimten juist exfiltratie optreedt. Als onder deze omstandigheden de mechanische ventilatie wordt uitgezet en de afvoerkanalen worden afgeplakt, kan zelfs na een blootstelling van 5 uur de binnenconcentratie minder dan 10% van de buitenconcentratie bedragen. Indien de mechanische ventilatie aan blijft staan zal de binnenconcentratie de buitenconcentratie benaderen.

Indien geen inpannige ruimte voorhanden is, zal een aan de lizzijde gelegen ruimte meest aangewezen ruimte zijn om in te schuilen. De woonkamer is in de meeste gevallen niet de gunstigste ruimte om te schuilen bij een incident.

Ook bij minder dichte woningen ($q_{v,10} > 200 \text{ dm}^3/\text{s}$) en hogere windsnelheden heeft het uitzetten van de mechanische ventilatie en het afplakken van de afvoerroosters meestal een (licht) positief effect. In een enkel geval is de eindconcentratie onder deze omstandigheden echter lager als het mechanisch ventilatiesysteem in laagstand aan blijft staan. Wanneer en of dit effect optreedt, is moeilijk in te schatten en hangt onder andere af van de plaats van de afvoerkanalen in de woning.

Toename koolzuurgasconcentratie tijdens schuilen

Mensen gebruiken zuurstof uit de lucht en ademen koolzuurgas (CO_2) uit. Door verblijf in een slecht geventileerde ruimte zal de concentratie van zuurstof in de ruimte dalen en van CO_2 stijgen. De leefbaarheid van de ruimte neemt daardoor af.

De concentratie CO_2 in de buitenlucht is ca 150 ppm, binnenshuis 1000 tot 1500 ppm. De blootstellingseffect relatie van CO_2 is als volgt (Hazardtext):

- 0,55 % (5500 ppm) gedurende 6 uur veroorzaakt geen effecten.
- 1,5% (15.000 ppm) is de bovenste tolerantiegrens voor blootstelling gedurende meerdere dagen achtereen.
- 2% (20.000 ppm) gedurende een aantal uren veroorzaakt hoofdpijn, kortademigheid bij inspanning en verhoging ademfrequentie.
- 3% (30.000 ppm) is licht narcotisch, maar veroorzaakt geen schadelijke effecten tenzij de concentratie zuurstof in de inademingslucht onder de 15-17% daalt.
- 5% (50.000 ppm) veroorzaakt hoofdpijn, kortademigheid, verhoging van ademfrequentie, duizeligheid, verwarring en ademhalingsmoeilijkheden.

De Gezondheidsraad [38] heeft een grenswaarde van 3% (30.000 ppm) vastgesteld, en stelt dat een concentratie van 1% (10.000 ppm) voor langdurige blootstelling ongewenst is. Bij het ontwerp van schuilkelders wordt de ventilatie zodanig gedimensioneerd dat de concentratie CO_2 tot maximaal 2% zal stijgen.

De Gids [39] berekent op basis van een ademvolume van een rustende persoon ($0,5 \text{ m}^3/\text{uur}$) en een volledig afgesloten ruimte dat de maximale verblijftijd in uren tot het bereiken van een CO_2 -concentratie van 2% gelijk is aan het per persoon ter beschikking staande aantal kubieke meters. Volgens deze schatting loopt de CO_2 concentratie bij 5 m^3 ruimte per persoon in 5 uur op tot 2%. Bij een meer realistisch ademvolume van ca $1 \text{ m}^3/\text{uur}$ gebeurt dit in de helft van de tijd; toetsing aan een CO_2 -concentratie van 3% verlengt de maximale schuultijd met een factor 1,5. Preventie van de opbouw van gevaarlijke CO_2 -concentraties is een van de redenen voor het advies om te schuilen in een zo groot mogelijke ruimte.

Ontalarmering en ventilatie-uitstel

Het einde van de emissie (het dichten van het lek bij de bron, etc.) is niet het einde van de gevaarlijke situatie. De concentratie buitenshuis ijlt nog enige tijd na, afhankelijk van meteorologische condities en de afstand tot de bron. De concentratie binnen neemt, vanwege de voor het schuilen slecht geventileerde woning, nog langzamer af. In de loop van de tijd daalt de concentratie buitenshuis beneden de concentratie binnenshuis. Ontalarmering moet strikt genomen op dit moment worden uitgevoerd: niet eerder en ook niet later.

Bij ontalarmering wordt geadviseerd om de woning zo goed mogelijk te ventileren door alle ramen en deuren binnenshuis en in de gebouwschil te openen. Na circa 15 minuten is de concentratie binnen

dan gelijk aan de concentratie buiten.

Het vaststellen van dit tijdstip is in de praktijk zeer lastig omdat er meestal onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn over concentraties binnen- en buitenhuis. Als de ventilatie-eigenschappen van de getroffen bebouwing en het concentratieverloop buiten gedurende het incident bekend zijn, kan op basis van modellen een inschatting worden gemaakt van de ratio van concentraties binnen/buiten.

In ieder geval geldt de stelregel om nooit te adviseren tot ontalmeren voordat een duidelijke feitelijke daling van de concentratie buiten is geconstateerd ten opzichte van de (verwachte) concentratie waarop de beslissing om te alarmeren was gebaseerd. Dat betekent dat de condities voor ontalmeren met metingen bevestigd moeten worden. Om een duidelijke daling van de buitenconcentratie aan te kunnen tonen moet gedurende het incident continu de concentratie buiten worden gemeten.

Een inschatting maken van het concentratieverloop buiten is mogelijk wanneer de wolk zichtbaar is, b.v. door de in de wolk aanwezige rook of omdat de wolk afkomstig is van een tot vloeistof gekoeld of verdicht gas. In het laatste geval geeft mistvorming de wolk een zichtbare vorm. Deze mistvorming is afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht. De zichtbare contour zal echter over het algemeen niet samenvallen met de toxische grenswaarde van het betreffende gas. Voor een met het blote oog onzichtbare wolk kan de passagetijd van de wolk geschat worden als de afstand tot de bron (x) en de gemiddelde windsnelheid (u) bekend zijn. Voor een tijdelijke bron kan de aankomst- en vertrektijd van de wolk benaderd worden met $x/2u$ respectievelijk $t_0 + 3x/2u$ waarbij t_0 de bronduur is en de tijd gemeten wordt vanaf het begin van de emissie. Volgens (19) kan de aankomst- en vertrektijd van een wolk afkomstig van een instantane bron benaderd worden met $x/2u$, respectievelijk $3x/2u$ na de emissie.

6 Dichtheidseffecten

Onder niet neutrale gassen worden die gassen verstaan, die een dichtheid hebben, die van de dichtheid van lucht significant verschilt. Men onderscheidt dan lichte gassen en zware gassen. Het probleem bij het uitvoeren van ventilatieberekeningen in geval van een zwaar gas is dat de buitenconcentratie niet constant is over de gevelhoogte.

Enige kwantitatieve opmerkingen kunnen wel gemaakt worden. Bij de verspreiding van zwaar gas heeft de wolk dicht bij de bron een geringe hoogte. Grootschalige proeven laten een zichtbare wolk met een hoogte van 1 tot 5 zien [30]. Bij aankomst bij een gebouw kan de hoogte van de wolk echter toenemen tot een factor 2 van de oorspronkelijke hoogte [28]. Dit is afhankelijk van de breedte van het gebouw en de aanstroomhoek van de wolk t.o.v. het gebouw. Hoewel door een geringe hoogte de zwaargas wolk een hoge concentratie heeft, is de penetratie in het gebouw geringer, daar de wolk een gedeelte van de hooggelegen kieren en openingen niet bereikt. De luchtuitswisseling bij een eengezinswoning b.v. vindt voor ca. 40 % plaats bij de overgang van de muren naar de dakconstructie [10].

In [15] zijn experimenten met emissies van zware gassen in een besloten ruimte gepubliceerd. Uit de resultaten bleek, dat zware gassen een laag op de vloer kunnen vormen als de verticale snelheidsgradiënt gering is. De verspreiding van het gas komt dan geheel op rekening van de moleculaire diffusie. Bij de in [3] en in [27] vermelde proeven met een emissie van zwaar gas (Freon-12) afkomstig van een externe bron op 3 m hoogte en op 45 m afstand vanaf het gebouw, werden gelijke concentraties gemeten op de begane grond en op de eerste verdieping aan de windzijde van het huis. Een wolk van zwaar gas, die een woning op grote afstand van de bron binnendringt is reeds door de atmosferische turbulentie verdund, zodat in dit geval met een model voor een neutraal gas gerekend kan worden. Referentie [29] geeft voor deze afstand de volgende relatie: $x > 8 \dot{V}_r / u$ waarbij \dot{V}_r het emissiedebiet (m^3/s) en u de gemiddelde windsnelheid (m/s) is.

Lichte gassen stijgen reeds bij de emissie en zullen dus vaak boven de huizen langs gaan. In huis kunnen er lagen langs het plafond gevormd worden. Evenals bij zware gassen hangt de menging af van het dichtheidsdeficiet. In [15] zijn metingen verricht met methaan, waaruit het bestaan van deze lagen werd aangetoond. Deze lagen hebben over het algemeen een geringe menging met de lucht in de rest van het vertrek. Door deze geringe menging is de concentratie in een dergelijke laag relatief hoog.

7 Nauwkeurigheid van modellen

De mate van bescherming tegen toxische stoffen van externe oorsprong door verblijf binnenshuis hangt af van de ventilatie van de betreffende toxische stof naar binnen en de adsorptie aan voorwerpen binnenshuis. Daarbij wordt voor de bepaling van de mate van bescherming uitgegaan van de concentratie van de toxische stof buitenshuis. Deze concentratie wordt berekend m.b.v. dispersiemodellen (zie PGS 2).

De nauwkeurigheid van de bepaling van de mate van bescherming binnenshuis tegen toxische stoffen, aangenomen dat het concentratieverloop buiten bekend is, hangt af van de nauwkeurigheid van de ventilatiemodellen en de bepaling van de adsorptie aan voorwerpen binnenshuis.

De nauwkeurigheid van de ventilatiemodellen wordt bepaald door de in de afleiding aangenomen vereenvoudigingen. Bij deze afleiding werd o.a. verondersteld dat het infiltrerende gas zich instantaan en homogeen over de hele ruimte verdeelt. Tevens werd aangenomen dat het ventilatievoud en de adsorptiefactor tijdsafhankelijk zijn. Metingen tonen dat dit niet altijd het geval is. Opgemerkt dient te worden dat bij de berekeningen met VENCON, waarvan de resultaten zijn opgenomen in Bijlage 4, adsorptie niet is meegenomen.

Van groter belang is de nauwkeurigheid waarmee het ventilatievoud en de adsorptiefactor bepaald kunnen worden. De meeste in de literatuur gevonden ventilatievouden en adsorptiefactoren hebben een spreiding van plusminus 70% van de gemiddelde waarde. Een tweemaal zo hoge ventilatievoud zorgt voor concentratiereductie die de helft kan zijn van de oorspronkelijke waarde. Een tweemaal grotere adsorptiefactor resulteert op den duur in een 1,5 maal grotere reductie.

Bij bekende concentratie buitenshuis bepaalt de spreiding van de geschatte ventilatievouden en de adsorptiefactoren de nauwkeurigheid van de concentratie binnenshuis. De afgeleide formules voor het één-kamer model geven slechts gemiddelde waarden zonder rekening te houden met op de verschillen in ventilatie per vertrek of fluctuaties van de wind en de concentratie buiten. Het meerkamer model houdt wel rekening met verschillen in ventilatie per vertrek en fluctuaties in concentratie (concentratieopbouw).

8 Conclusies

In dit rapport zijn de resultaten beschreven van een literatuurstudie en een simulatiestudie naar de bescherming tegen toxische stoffen van externe oorsprong door verblijf binnenshuis. De mate van deze bescherming is afhankelijk van de ventilatie en adsorptie binnenshuis. De ventilatie van gebouw is afhankelijk van het ventilatiesysteem, de getroffen schuilmaatregelen (het al dan niet afzetten van mechanische ventilatie en het dichtplakken van de ventilatieopeningen), de luchtdichtheid van het gebouw en de heersende meteo-condities. Voor nieuwbouw zijn eisen aan ventilatie en luchtdichtheid opgenomen in het Bouwbesluit.

Met behulp van een mathematisch model (rekenformules uit hoofdstuk 4) kan uitgaande van een bekende concentratie aan contaminanten buitenshuis, de concentratie binnenshuis berekend worden. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen het één-kamer model, waarvoor in hoofdstuk 4 formules zijn opgenomen om de concentratie binnenshuis te kunnen berekenen, en het meer-kamer model, waarvan het in hoofdstuk 4 beschreven ventilatierekenmodel VENCON er één is.

In het geval van een tijdelijke maar langdurige enigszins constante emissie is de mate van bescherming, behalve van het ventilatievoud en de adsorptiefactor, tevens afhankelijk van de emissieduur. Bij onveranderde meteorologische omstandigheden komt dit overeen met de passagetijd van de wolk. Hoe langer de emissieduur is, hoe hoger de concentratie binnenshuis wordt. In een dergelijk geval verdient het de aanbeveling het ventilatievoud van de woning te reduceren door het afzetten van de mechanische ventilatie of door eventueel afplakken van naden en kieren (vooral voor oudere huizen van belang). Afhankelijk van de luchtdichtheid van het gebouw en de meteorologische omstandigheden vindt dan nog enige ventilatie plaats. Bij een instantane emissie is de passagetijd van de wolk meestal van korte duur en bereikt de maximale concentratie binnenshuis slechts een fractie van de maximale concentratie buitenshuis.

Wordt door het veranderen van de windrichting de concentratie buitenshuis tot nul teruggebracht, dan blijft de concentratie binnenshuis nog een zekere tijd de reeds bereikte waarde houden. In dit geval wordt de bescherming verhoogd door direct volledig te ventileren en/of het gebouw te verlaten, zodra de pluim de woning niet meer bereikt. Het tijdsverschil tussen volledige ventilatie en het moment waarop de toxische wolk de woning niet meer bereikt - het ventilatie-uitstel - is van belang bij de bepaling van de binnenshuis opgelopen dosis. Verkorting van het ventilatie-uitstel heeft een aanzienlijke dosisreductie ten gevolge.

Het afschakelen van de mechanische ventilatie en het afplakken van de ventilatieopeningen vertraagt meestal de stijging van de concentratie binnenshuis. De concentratie blijft het laagst bij vrij luchtdichte gebouwen, zoals flatwoningen. Juist deze woningen hebben vaak een niet door de bewoners zelf beïnvloedbaar ventilatiesysteem. Algemeen kan worden gesteld dat bij hogere windsnelheden (> 5 m/s) de effectiviteit van het uitzetten en afplakken van de mechanische ventilatie snel afneemt.

De meest optimale bescherming tegen de passage van een toxische wolk treedt op bij een dichte woning ($q_{v,10} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$) met een in pandige ruimte (bij voorkeur zonder afvoerrooster) en een windsnelheid waarbij aan de aan de lizijde gelegen ruimten juist exfiltratie optreedt. Als onder deze omstandigheden de mechanische ventilatie wordt uitgezet en de afvoerkanalen worden afgeplakt, kan zelfs na een blootstelling van 5 uur de binnenconcentratie minder dan 10% van de buitenconcentratie bedragen. Indien geen in pandige ruimte voorhanden is, zal een aan de lizijde gelegen ruimte meest aangewezen ruimte zijn om in te schuilen. De woonkamer is in de meeste gevallen niet de gunstigste ruimte om te schuilen bij een incident.

Symbolenlijst

A_{ads}	adsorberend oppervlak	$[m^2]$
A_i	oppervlak waarbinnen de binnenshuis opgelopen dosis een bepaalde waarde overschrijdt	$[m^2]$
A_o	oppervlak waarbinnen de buitenshuis opgelopen dosis een bepaalde waarde overschrijdt	$[m^2]$
C_i	concentratie binnenshuis	$[kg/m^3]$
C_i/C_o	verhouding van binnen- en buitenconcentratie	$[-]$
C_o	concentratie buitenshuis	$[kg/m^3]$
CR	concentratiereductie	
k	adsorptiefactor	$[h^{-1}]$
f_{bo}	fractie beschermd oppervlak	
m_{ads}	adsorptieverliesstroom	$[kg/s]$
\dot{n}_a	adsorptiefrequentie	$[s^{-1}]$
\dot{n}_v	ventilatiefrequentie	$[s^{-1}]$
\dot{n}_{va}	ventilatiefrequentie plus adsorptiefrequentie	$[s^{-1}]$
$q_{v,10}$	luchtdebiet door de omhulling van de woning, bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 10 Pascal.	$[dm^3/s]$
t	tijd	$[s]$
t^*	tijdstip waarop een bepaalde concentratieverhouding bereikt wordt	$[s]$
t_1	passagetijd van de wolk	$[s]$
t_2	tijdstip van uitgestelde ventilatie	$[s]$
t_b	bronduur gemeten vanaf het begin van de emissie	$[s]$
t_m	tijdstip waarop de binnenconcentratie maximaal is	$[s]$
u	gemiddelde windsnelheid	$[m/s]$
v_{ads}	adsorptiesnelheid	$[m/s]$
x	afstand tot de bron gemeten langs de gemiddelde windrichting	$[m]$
\dot{V}	luchtstroom	$[m^3/s]$
V	inhoud van het vertrek	$[m^3]$
\dot{V}_r	emissiedebiet	$[m^3/s]$

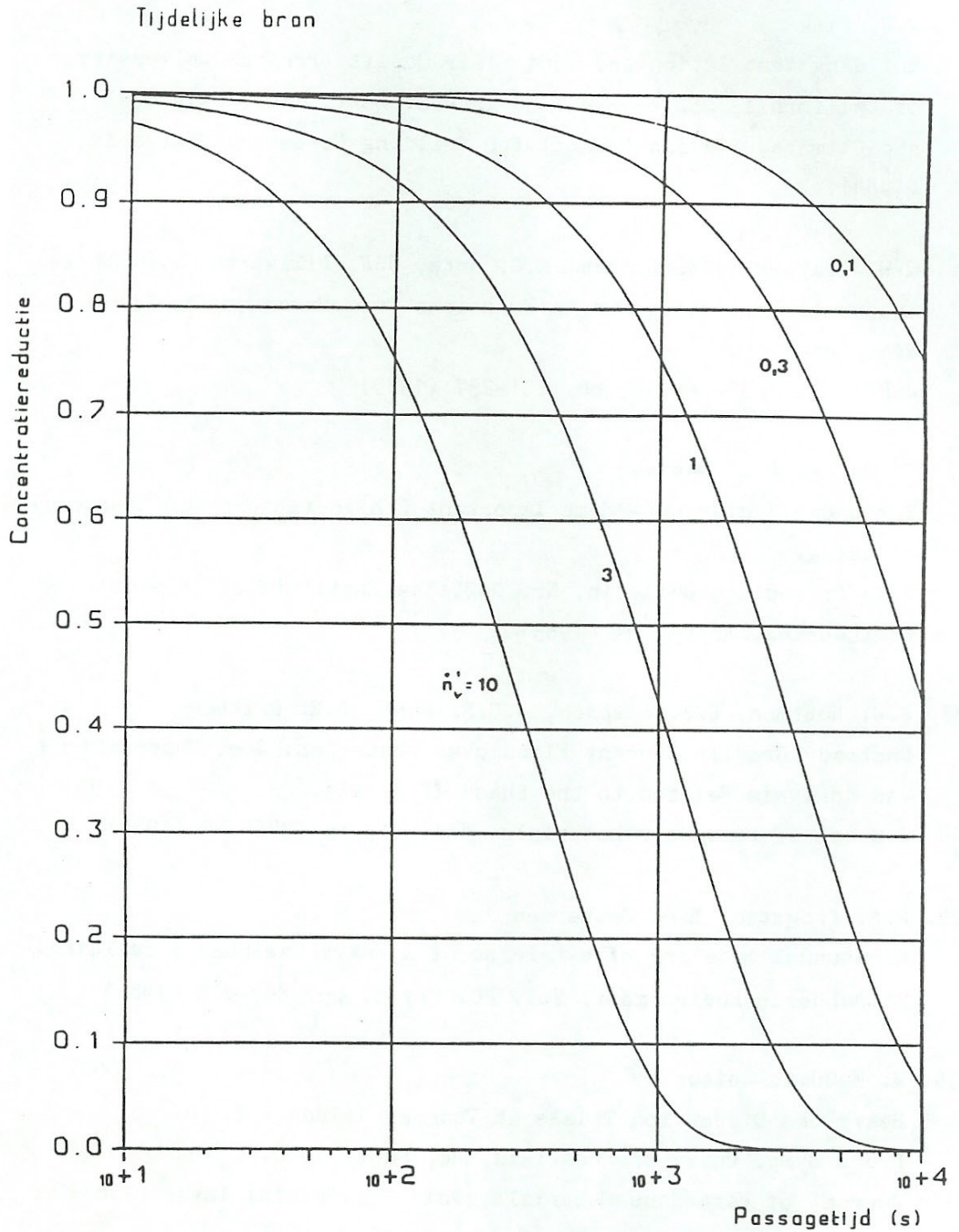
Literatuur

1. PGS 2, Methods for the calculation of physical effects (het "Gele Boek"). (Voorheen CPR 14E. Rapport van de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, Sdu Uitgevers, 3e editie 1997.)
 2. M. van Zelm; De penetratie van gaswolken in huizen en de bescherming van personen in huizen - Chem.Lab./TNO - Rapport 1976-2 (1976).
 3. M. van Zelm; De penetratie van gaswolken in huizen - Chem.Lab./TNO - Rapport 1974-14 (1974).
 4. A.C. van den Berg; De gevolgen voor de omwonenden van een calamiteit waarbij giftige stoffen vrijkomen en de bescherming die geboden wordt door een verblijf binnenshuis. PML/TNO Rapport 1978-11 (1978).
 5. H.C. v.d. Weide; Voortzetting onderzoek van de penetratie van gaswolken in huizen en bescherming van personen in huizen. PML/TNO Rapport PML 1978 - 38 (1978).
 6. G. Huber; Minimale Lueftungszahlen in Wohn- und Arbeitsraeumen. Diss. ETH Nr. 7008 - Zuerich (1982)
 7. J. B. Dick; The fundamentals of natural ventilation of houses. J. Inst. Heating and Ventilation Engineers 18, 123 (1950).
 8. H.Ph.L. den Ouden, W.F. de Gids en J.A. Ton; Ventilatie van gebouwen - IG/TNO Afd. Binnenklimaat - Rapport C 348 Delft (1975).
 9. W.F. de Gids, J.A. Ton en L.M. van Schijndel; Natural Ventilation of Dwellings. Investigation of the relationship between the ventilation of a flat and the meteorological conditions - IMGITNO, Publ. 620 (1977).
 10. W.F. de Gids, J.C. Phaff en B. Knoll; New ways to save energy - Proceed. of the Intern. Seminar, Brussels 23-25 Oct. 1979, PP. 1100-1106. D.Reidel Publ. Comp., Dordrecht (1980), ISBN 90-277-1078-3.
 11. J. Wegner; Untersuchungen des natuerlichen Luftwechsel in ausgefuehrten Wohnungen, die mit sehr fugendichten Fenstern ausgestattet sind. Gesundheits-Ingenieur, Jg. 104, Heft 1, pp. 1-56 (1983).
 12. H. Roetscher; Lueftungs- und Klimatechnik - Grundlagen Muenchen, Wien: Hanser, 1982, ISBN 3-446-13498-0.
 13. W. Richter; Lueftung im Wohnungsbau. VEB - Verlag fuer Bauweisen, Berlin (DDR) (1983)
 14. D.W.. Dockery en H.D. Spengler; Indoor-outdoor relationship of respirable sulfates and
-

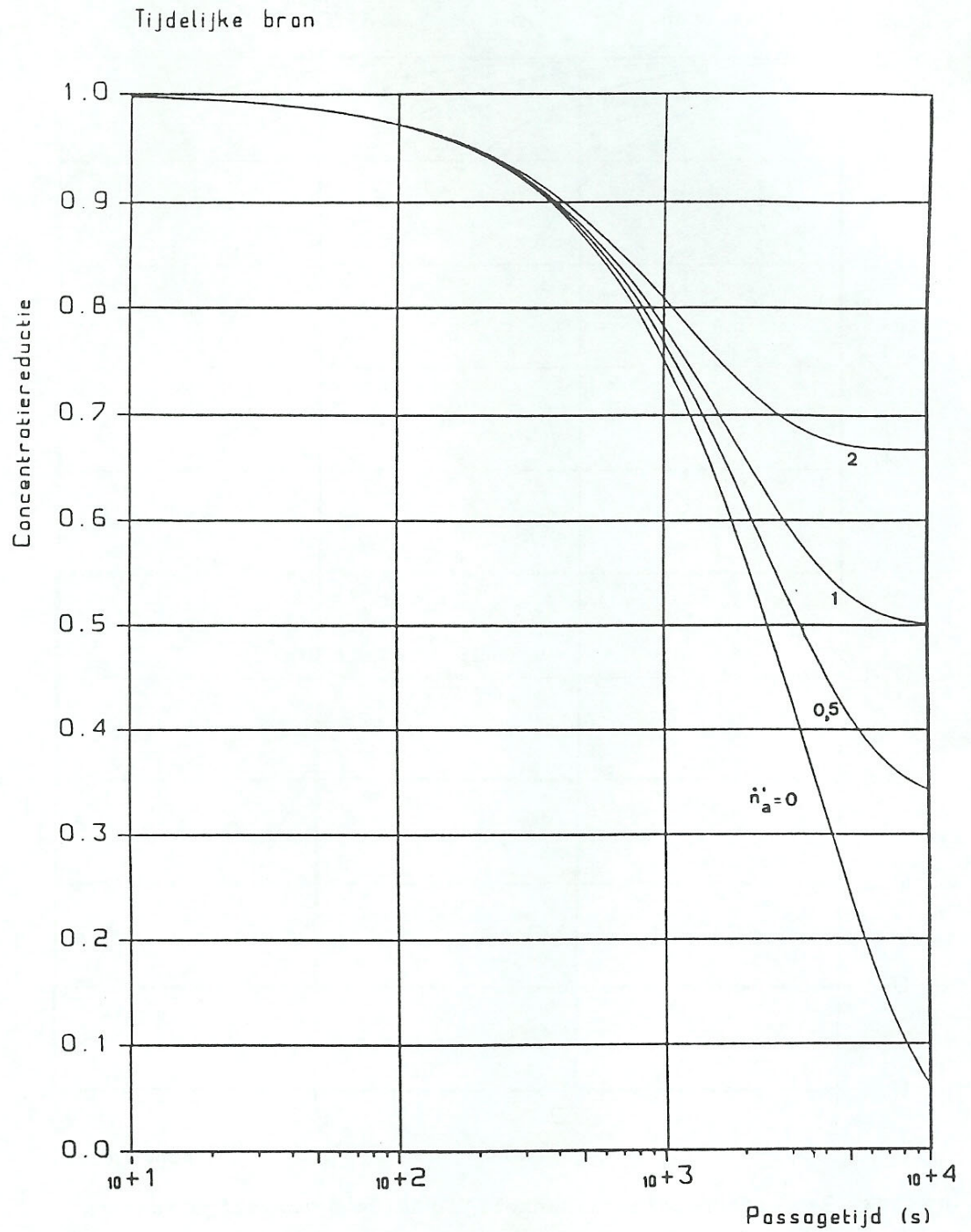
- particles. *Atm. Environm.*, Vol. 15, pp. 335-343 (1981).
15. S.J. Leach en D.P. Bloomfield; Ventilation in relation to toxic and flammable gases in buildings. *Building Science*, Vol 8, pp. 289-310 (1973).
 16. H. de Graaf en K. Biersteker; Luchtverontreiniging in Rotterdam, een vergelijkend onderzoek van luchtverontreiniging binnen een buiten de woningen.
 1. *Ned. Tijdschr. voor Geneesk.*, 109.1.17. pp. 793-799 (1965).
 17. I. Andersen; Relationship between Outdoor and Indoor Air Pollution - Technical Notes - *Atm. Environm.*, Vol. 6, pp. 275-278 (1972)
 18. F.H. Shair en K.L. Heitner; Theoretical Model for Relating Indoor Pollutant Concentrations to Those Outside - *Environm. Science & Technology*, Vol. 8, Nr. 5, pp. 444-451 (1974).
 19. H.W. Georgh;m Ueber das Eindringen von Luftverunreinigung in Gebauede - *Hygiene-Umwelt*, Jg. 44, Heft 3, PP. 327-329 (1973).
 20. J.D. Spengler, B.G. Ferris en D.W. Dockery; Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide Levels Inside and Outside Houses and the Implications on Health Effects Research *Environm. Science & Technology*, Vol. 13, Nr. 10, pp. 1276-1280 (1979).
 21. J. Alzona, B.L. Cohen, H. Rudolph, H.N. Jow en J.O. Frohlinger Indoor-outdoor relationship for airborne particulate matter of outdoor origin - *Atm. Environm.*, Vol. 13, pp. 55-60 (1979).
 22. A. F. Cohen en B. L. Cohen; Protection from being indoors against inhalation of suspended particulate matter of outdoor origin - *Atm. Environm.*, Vol. 14, pp. 183-184 (1980).
 23. J.F. Yocom; Indoor-Outdoor Airquality Relationship - A critical review. *JAPCA*, Vol. 32, Nr. 5, pp. 500-520 (1982).
 24. Discussion Papers (voor bovengenoemd artikel van J.F. Yocom) *JAPCA*, Vol. 32, Nr. 9, pp. 904-914 (1982).
 25. W. J. Fisk; Building Ventilation and Indoor Air Quality Program University of California, LBL. - Proc. 3d Intern. Conf. Indoor Air Quality and Climate, Swedish Council for Building Research, Stockholm, (1984).
 26. G.W. Traynor, J.R. Girmam, M.G. Apte, J.F. Dillworth, P.D. White Indoor Air Pollution Due to Emissions from Unvented Gas-Fired Spacc Heaters. *JAPCA*, Vol. 35, Nr. 3, pp. 231-237 (1985).
 27. G. Purdy, P.C. Davies; Toxic Gas Incidentts - Some Important Considerations for Emergency Planning. *Loss Prevention Bulletin*, Nr. 062, The Institute of Chemical Engineering, Rugby, UK (1985).
-

28. J.W. Rottman, J.E. Simpson, J.C.R. Hunt, R.E. Britterm; Unsteady Gravity Current Flows over Obstacles: Some Observations and Analysis Related to the Phase II Trials. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 11, pp. 325-340 (1985).
 29. P.A. Krogstad, R.M. Pettersen; Windtunnel Modeling of a Release of a Heavy Gas near a Building. *Atmospheric Environment*, Vol. 20, Nr. 5, pp. 867-878 (1986).
 30. J. McQuaid Editor; Heavy Gas Dispersion Trials at Thorney Island - 2. Proc. Symp. Univ. of Sheffield, UK, Sept. 1986. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 16, Special Issue (1987).
 31. D.L. Ermak, H.C. Rodean, R. Lange, S.T. Chan; A Survey of Denser-than-Air Atmospheric Dispersion Models. Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-21024 (1988).
 32. Het "Bouwbesluit", Ministerie van VROM.
 33. W. Kornaat; "Ventilatieonderzoek naar infiltratie en verspreiding van buitenluchtverontreinigingen in woningen bij calamiteiten", TNO-rapport 99-BBI-R060, TNO Bouw, Delft, 30 juni 1999.
 34. Het programma VENCON voor industriële gebouwen en kantoren; Een model voor ventilatie van gebouwen en verspreiding van binnenluchtverontreinigingen, ing. J.C. Phaff, TNO-rapport B-92-1217-I, 21 december 1992, Delft.
 35. Bescherming van de bevolking door binnenshuis schuilen bij incidenten met chemicaliën, eindrapport: definitieve versie d.d. 22 december 1999, M. Ruijten (GGD) e.a.
 36. Cornelissen H, W de Gids. Gegevensbestand luchtdoorlatendheid van woningen. Analyse. TNO rapport 94-BBI-R1760. Delft: TNO Bouw, 1994.
 37. Cornelissen H, W de Gids. Overzicht luchtdoorlatendheidsgegevens eengezinswoningen. TNO rapport 97-BBI-R1295 Delft: TNO Bouw, 1997.
 38. Gezondheidsraad. Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen. 's-Gravenhage: Gezondheidsraad, 1984.
 39. Gids, W de.; Advies met betrekking tot schuilen binnenshuis. TNO rapport 98 BBI R / . Delft: TNO Bouw, 1999.
-

Grafieken



Grafiek 1: Concentratiereductie afhankelijk van de passagetijd van een tijdelijke constante bron; parameter het ventilatievoud \dot{n}'_v in h⁻¹; geen adsorptie.



Grafiek 2: Concentratiereductie afhankelijk van de passagetijd van een tijdelijke constante bron; parameter het adsorptievoud \dot{n}'_a in h^{-1} ; het ventilatievoud is 1 h^{-1} .

Bijlage 1: Vergelijkingen voor binnenconcentratieberekeningen

Voor een tijdelijke constante emissie, die weergegeven kan worden door een blokfunctie zoals beschreven in par. 4.4 zijn de volgende vergelijkingen voor de binnenconcentratie ontleend aan [4].

Hierbij heeft de index 1 betrekking op het vertrek aan de loefzijde en index 2 op het vertrek aan de lijzijde, dat uitsluitend geventileerd wordt met lucht uit het vertrek aan de loefzijde van het gebouw. De binnenconcentratie in het vertrek aan de lijzijde wordt gegeven door de volgende vergelijkingen:

Voor $t \leq t_1$

$$C_{i2} = C_o * \left(\frac{\dot{n}_{v1} * \dot{n}_{v2}}{\dot{n}_{va1} * \dot{n}_{va2}} + \frac{\dot{n}_{v1} * \dot{n}_{v2}}{\dot{n}_{va1} * (\dot{n}_{va1} - \dot{n}_{va2})} * \exp(-\dot{n}_{va1} * t) + -\frac{\dot{n}_{v1} * \dot{n}_{v2}}{\dot{n}_{va2} * (\dot{n}_{va1} - \dot{n}_{va2})} * \exp(-\dot{n}_{va2} * t) \right) \quad (A1)$$

en voor $t > t_1$

$$C_{i2} = C_2^* * \exp(-\dot{n}_{va2} * (t - t_1)) + C_1^* * \frac{\dot{n}_{v2}}{\dot{n}_{va1} - \dot{n}_{va2}} * (\exp(-\dot{n}_{va2} * (t - t_1)) - \exp(\dot{n}_{va1} * (t - t_1))) \quad (A2)$$

Hierin zijn:

C_1^* = de concentratie in vertrek 1 (loefzijde) op tijdstip t_i , te berekenen m.b.v. verg. (8a).

C_2^* = de concentratie in vertrek 2 (lijzijde) op tijdstip t_i , te berekenen m.b.v. verg. (A1).

De andere grootheden zijn analoog aan de in hoofdstuk 4 beschreven grootheden.

Bijlage 2: Beschrijving van simulaties met meerkamermodel VENCON

Woningtypen

De modelsimulaties zijn uitgevoerd aan een model van een gezinswoning en flatwoning. Plattegronden van deze woningen zijn weergegeven in Bijlage 3. De inhoud van de verschillende vertrekken zijn in deze plattegronden aangegeven, omdat deze wenselijk kunnen zijn voor een goed begrip van de berekende concentratieverlopen. Opgemerkt wordt dat in het model van de eengezinswoning een verbinding tussen keuken en woonkamer is gemodelleerd, maar dat deze zodanig groot is dat ventilatietechnisch over een woning met open keuken gesproken mag worden. Desondanks beschouwt het model de keuken en woonkamer als afzonderlijke ruimten en berekent voor beide ruimten afzonderlijk dan ook een concentratieverloop.

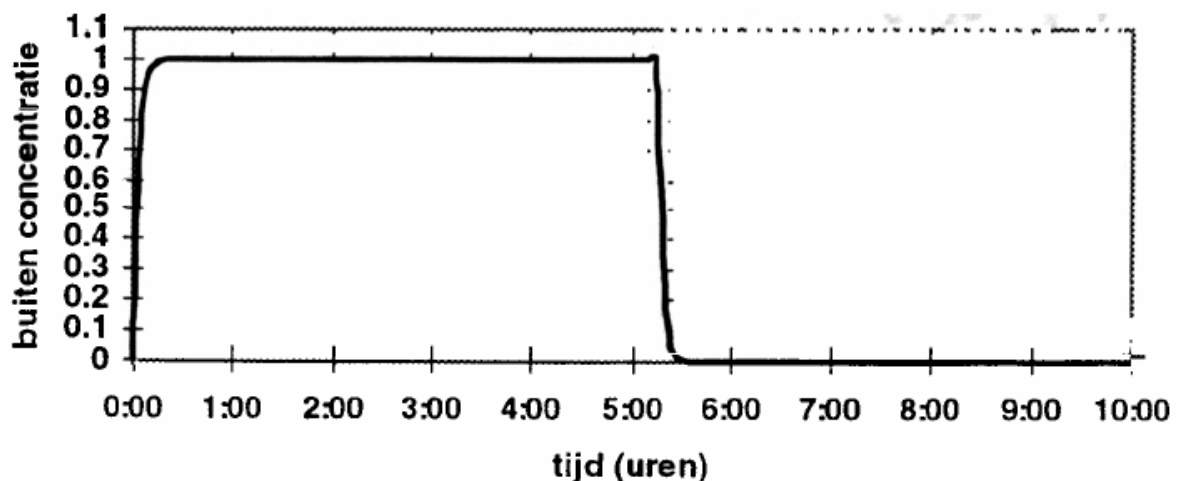
Bronscenario's

Simulaties zijn uitgevoerd voor een lang en kort bronscenario. Bij het lange bronscenario neemt de buitenconcentratie in circa 15 minuten via een e-macht toe tot de eindwaarde van 1, blijft vervolgens 5 uur op deze eindwaarde en neemt daarna via een e-macht weer in 15 minuten af tot nul (zie figuur 1).

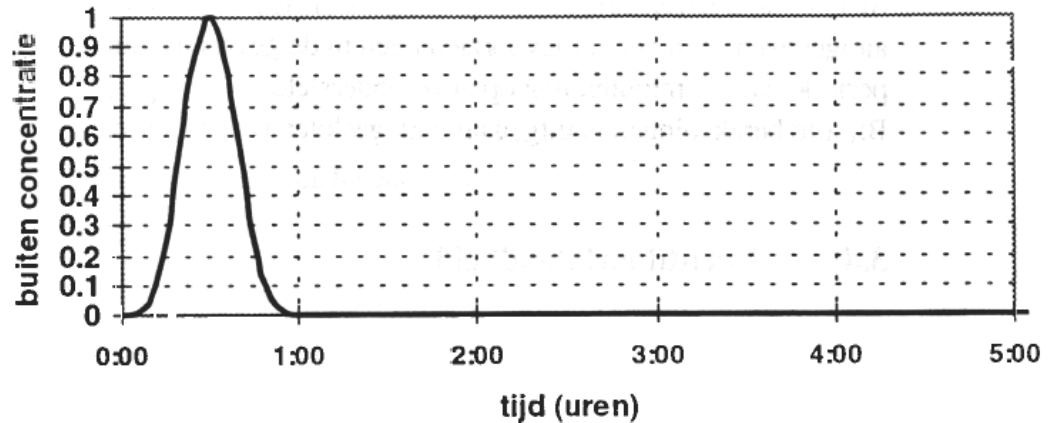
Bij het korte bronscenario neemt de buitenconcentratie in een half uur toe tot een eindwaarde van 1 en vervolgens in een half uur weer af tot nul (zie figuur 2).

Opgemerkt wordt dat de aangehouden eindwaarde van de buitenconcentratie niet terzake doet. Bij de beoordeling zijn de optredende binnenconcentraties namelijk uitgedrukt als percentage van de maximum waarde van de buitenconcentratie.

Bij beide bronscenario's is steeds aangehouden dat op alle posities aan de woningschil het verloop van de buitenconcentratie gelijk is. Er is dus geen onderscheid tussen bijvoorbeeld loef- en lijzijde, hoger en lager gelegen vertrekken e.d. gemaakt ten aanzien van de buitenconcentraties. .



figuur 1: Lange bronscenario.



figuur 2: Korte bronscenario.

Ventilatiesystemen en ventilatievoorzieningen

Met betrekking tot het ventilatiesysteem (systeem voor de luchtafvoer vanuit de woning) zijn de volgende situaties gesimuleerd:

- natuurlijk ventilatiesysteem;
Het netto-doorlaatoppervlak van de ventilatiekanalen in keuken, badkamer en toilet bedraagt hierbij respectievelijk 95, 85 en 30 cm², waarmee de gewenste norm afvoerdebieten onderhouden kunnen worden.
- mechanisch afzuigsysteem in de laagstand;
Het totaal afgezogen luchtdebiet bedraagt 21 dm³/s (in keuken, badkamer en toilet respectievelijk 10,5 , 7 , 3,5 dm³/s);
- mechanisch afzuigsysteem in de hoogstand.
Het totaal afgezogen luchtdebiet bedraagt 42 dm³/s (in keuken, badkamer en toilet respectievelijk 21 , 14 , 7 dm³/s);
- uitgeschakeld mechanisch afzuigsysteem;
Via een uitgeschakeld mechanisch afzuigsysteem zal door natuurlijke drijvende krachten nog steeds luchttransport plaatsvinden. De uitgeschakelde afzuigventilator is hierbij in belangrijke mate bepalend voor de weerstand. Op basis van bevindingen van TNO is voor de netto-doorlaat van het totale kanalsysteem plus afzuigventilator, bij uitgeschakelde afzuigventilator, aangehouden 21 cm². Omdat de weerstand van de kanalen naar de verschillende vertrekken klein is in vergelijking tot de centrale weerstand van de uitgeschakelde afzuigventilator, is dit netto-doorlaatoppervlak gelijkmatig verdeeld over de verschillende vertrekken, d. w.z. 7 cm² in keuken, badkamer en toilet.
- afgeplakt afzuigsysteem.
Het kan hier een natuurlijk dan wel mechanisch afzuigsysteem betreffen waarbij de afvoerroosters zijn afgeplakt en dus geen luchtafvoer via het systeem plaatsvindt. De ventilatievoorzieningen in de gevels (ramen, ventilatieroosters) zijn bij alle berekeningen gesloten.

Slechts bij 2 berekeningen (zie figuren B14 en B15 in Bijlage 4) zijn ventilatievoorzieningen in de

gevels na aanvang van de calamiteit over een korte periode van 10 minuten nog open verondersteld. Bij alle berekeningen is uitgegaan van gesloten binnendeuren.

Luchtdoorlatendheid

Voor de eengezinswoning is uitgegaan van 3 luchtdoorlatendheden, namelijk:

- $q_{v,10}$ -waarde = 100 dm³/s (realiseerbaar met huidige bouwpraktijk);
- $q_{v,10}$ -waarde = 200 dm³/s (grenswaarde volgens het bouwbesluit);
- $q_{v,10}$ -waarde = 600 dm³/s (waarde voor oude woning).

Voor de flatwoning is uitgegaan van een $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm³/s. Dit is in flatwoningen realiseerbaar met de huidige bouwpraktijk.

De verdeling van de luchtdoorlatendheid bij de eengezinswoning over gevels, vloer en dak is aangegeven in Tabel 3-2 in hoofdstuk 3, afhankelijk van de totale luchtdoorlatendheid. Door TNO wordt veel onderzoek uitgevoerd naar de luchtdoorlatendheid van gebouwen en constructies. Voor woningen wordt een database inzake de luchtdoorlatendheid bijgehouden. Op grond van de inzichten, die hierbij opgedaan zijn, is de verdeling volgens Tabel 3-2 vastgesteld.

Bij de flatwoning is de luchtdoorlatendheid evenredig over beide gevels verdeeld. Dit is in de praktijk ook veelal het geval omdat beide gevels vergelijkbaar zijn wat betreft afmetingen en uitvoering. Volledigheidshalve wordt hierbij nog opgemerkt dat de $q_{v,10}$ -waarde van een woning gedefinieerd is als de luchtdoorlatendheid bij gesloten ramen en/of ventilatieroosters, af geplakte ventilatiesysteem en (indien van toepassing) af geplakte rookgaskanalen. Of met andere woorden de $q_{v,10}$ -waarde heeft niet betrekking op bewust aangebrachte openingen in de gebouwschil, maar juist op onbedoeld ontstane lekken (kieren en naden) in de bouwkundige constructie,

Meteocondities

Berekeningen zijn uitgevoerd bij windsnelheden van:

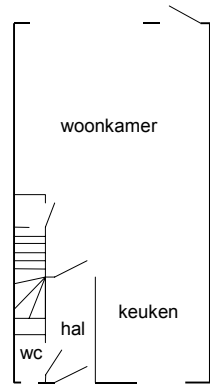
- 2 m/s;
- 3,5 m/s;
- 5 m/s (gemiddeld optredende windsnelheid);
- 8 m/s.

Bij alle berekeningen is uitgegaan van:

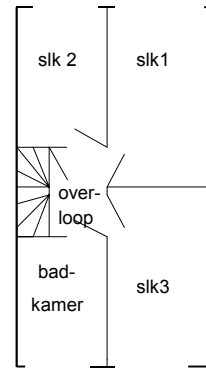
- een windrichting loodrecht op de woonkamer gevel;
- een buitenluchttemperatuur van 5 °C, hetgeen de gemiddelde buitenluchttemperatuur over een stookseizoen is.

Bijlage 3: Plattegronden van modelwoningen voor simulaties

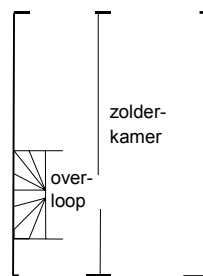
Eengezinswoning



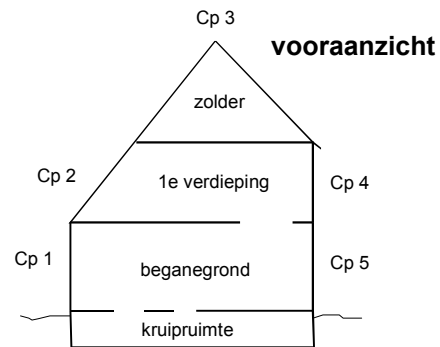
beganeground



1e verdieping

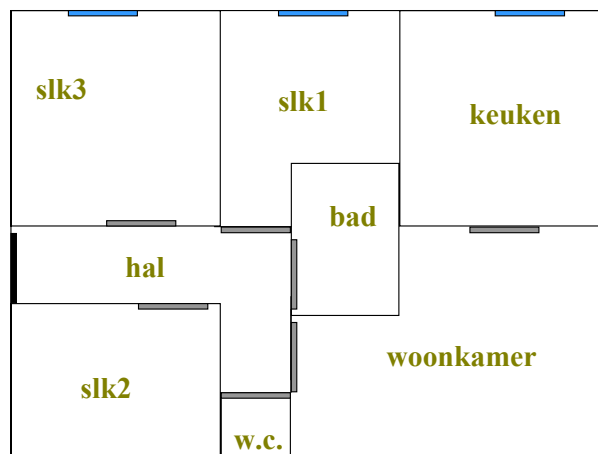


zolder



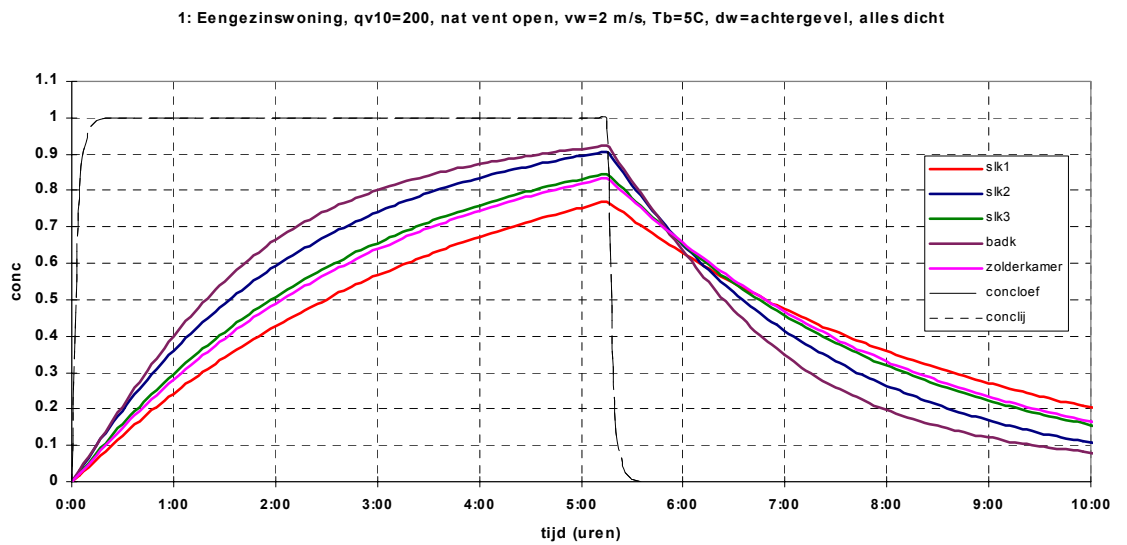
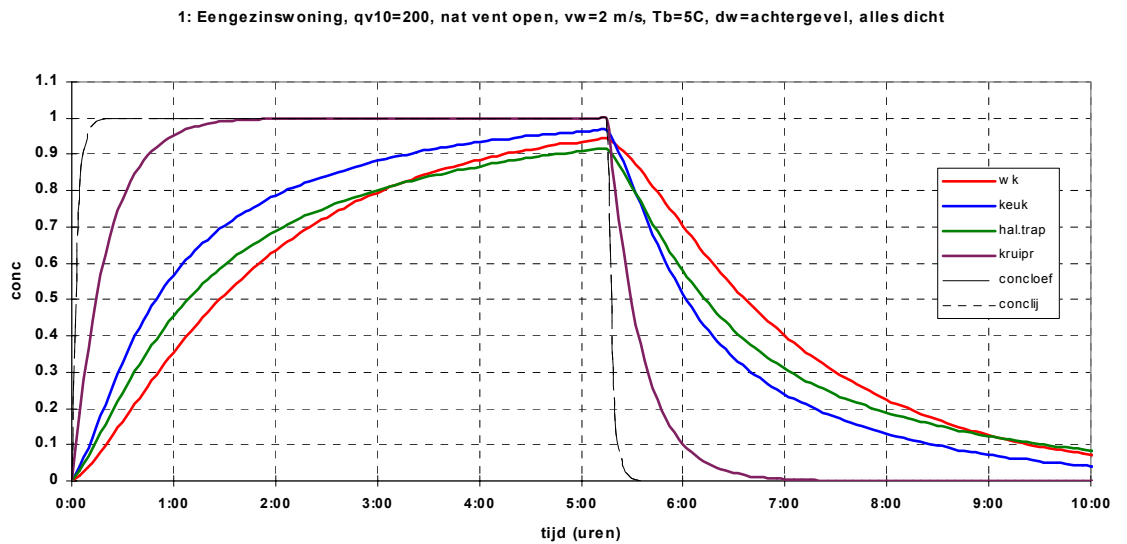
vooraanzicht

Flatwoning

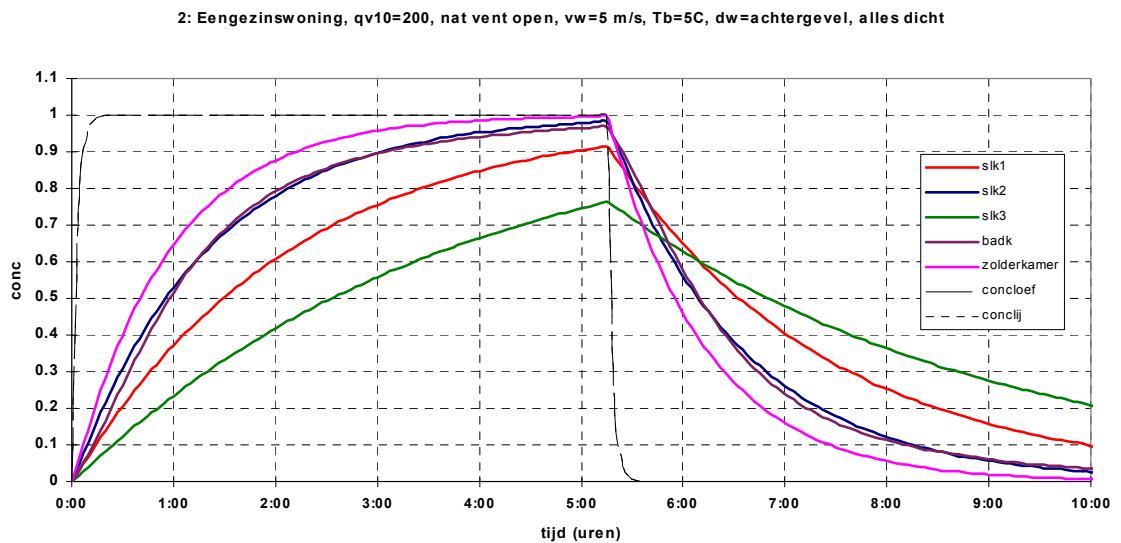
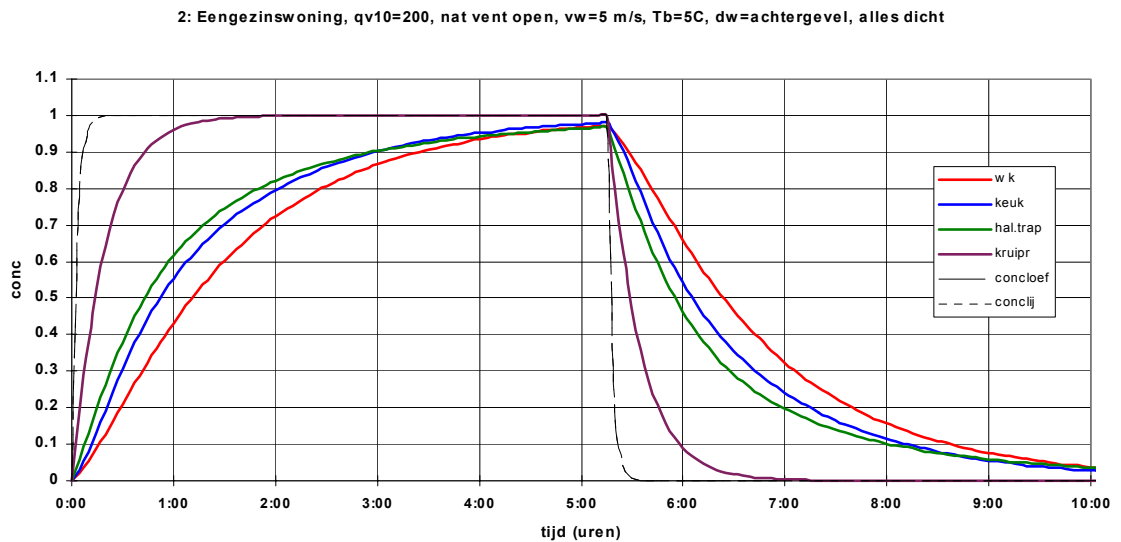


Bijlage 4: concentratieverloop in woningen bij diverse condities

De in deze bijlage opgenomen figuren zijn overgenomen uit [33]

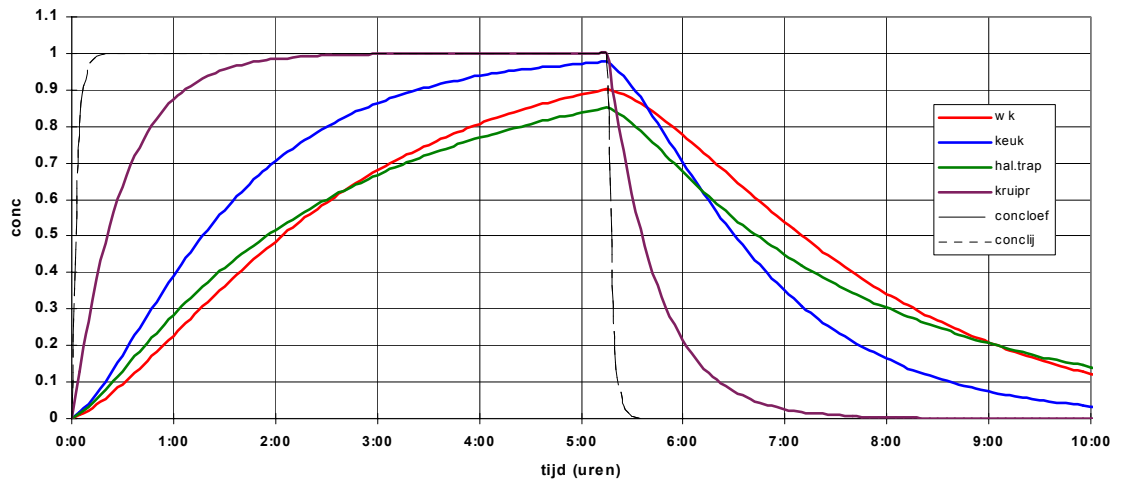


Figuur B1: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en natuurlijk ventilatiesysteem bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

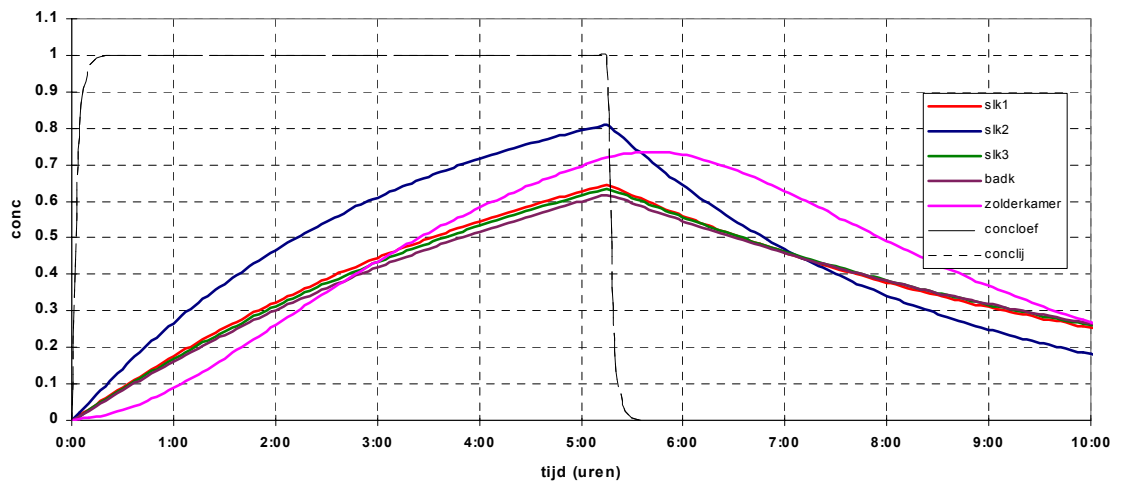


Figuur B2: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en natuurlijk ventilatiesysteem bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoevoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

3: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=2\text{ m/s}$, $T_b=5\text{ C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

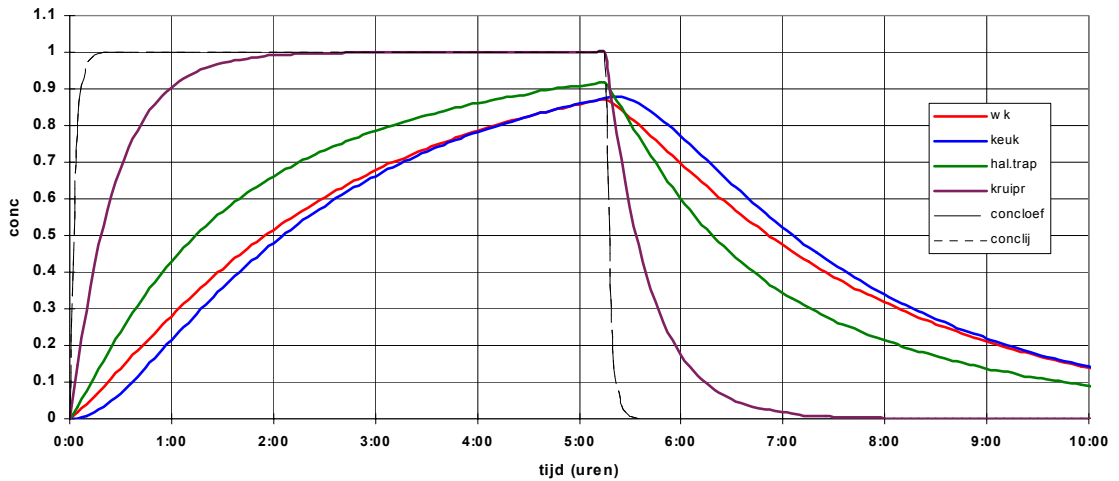


3: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=2\text{ m/s}$, $T_b=5\text{ C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

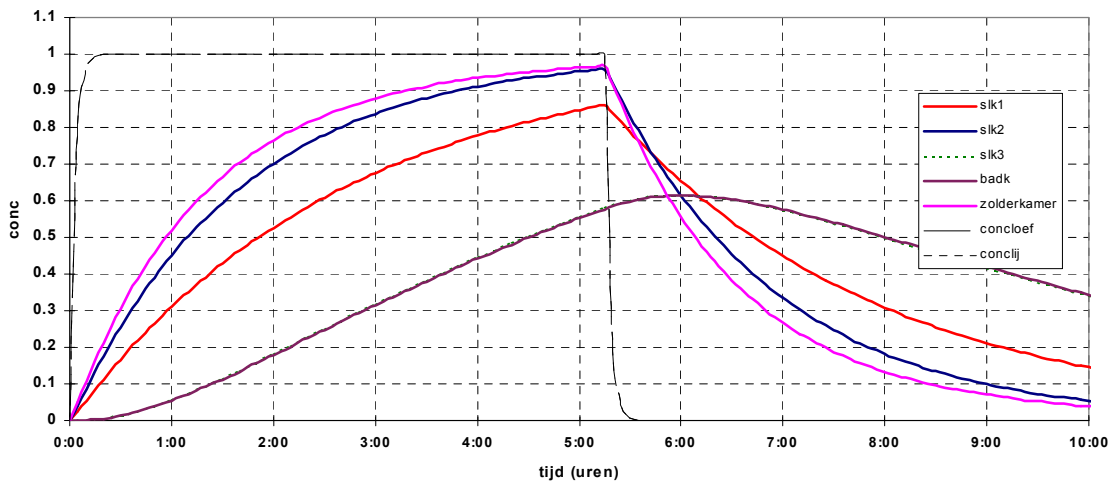


Figuur B3: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200\text{ dm}^3/\text{s}$ en afgeplakte natuurlijke ventilatiekanalen (lek 0 cm^2) bij 2 m/s windsnelheid, 5 C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

4: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=5\text{ m/s}$, $T_b=5\text{ C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

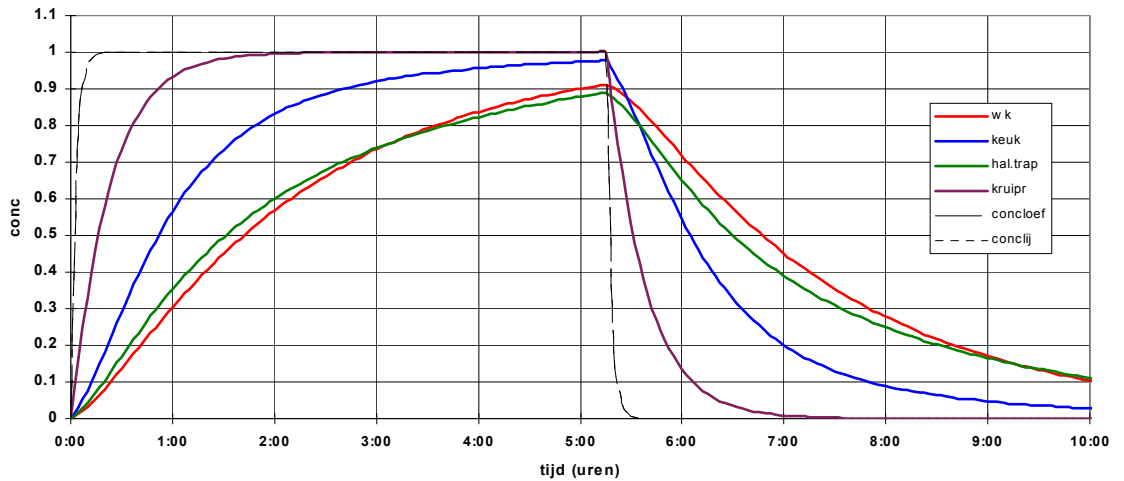


4: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=5\text{ m/s}$, $T_b=5\text{ C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

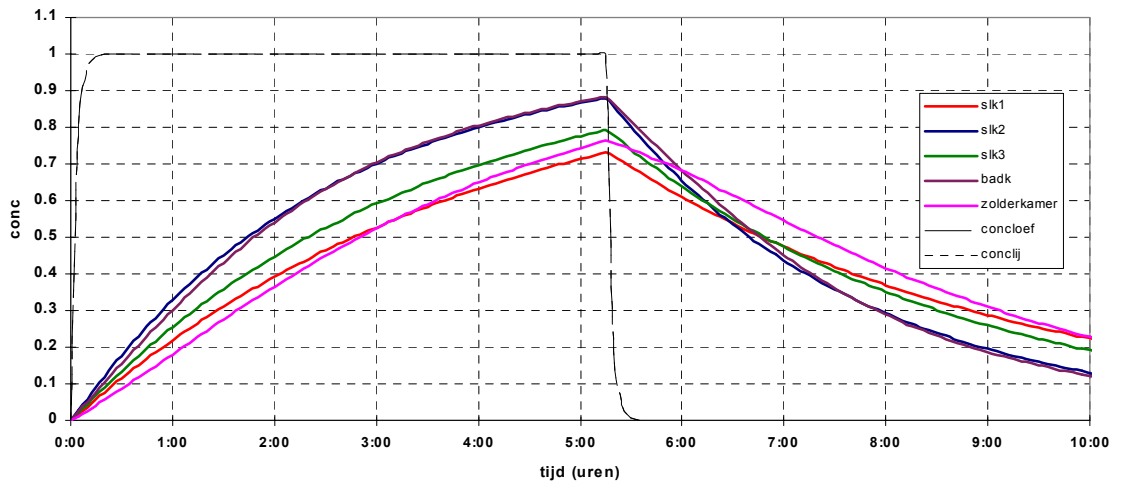


Figuur B4: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200\text{ dm}^3/\text{s}$ en afgeplakte natuurlijke ventilatiekanalen (lek 0 cm^2) bij 5 m/s windsnelheid, 5 C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronsscenario.

5: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=2 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w = achtergevel, alles dicht

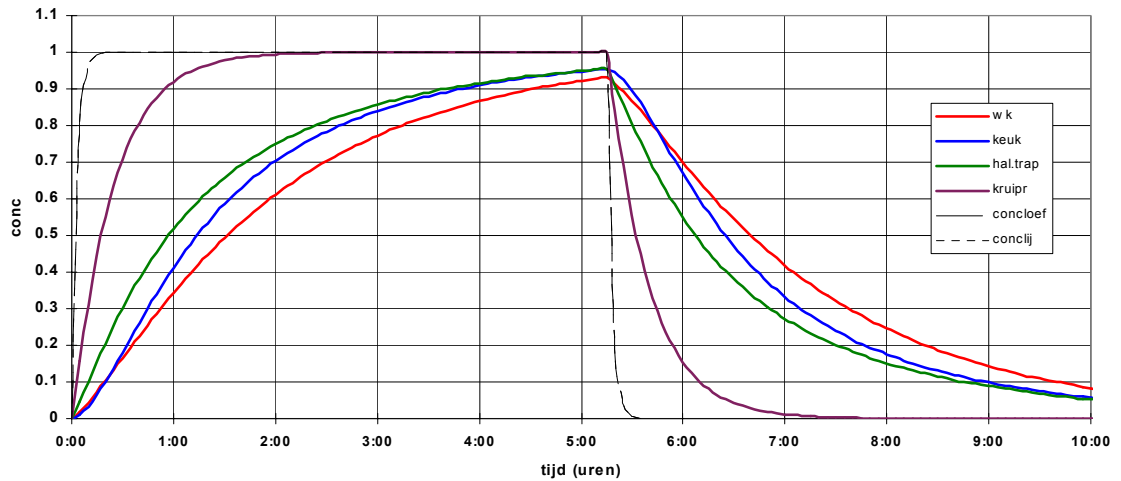


5: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=2 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w = achtergevel, alles dicht

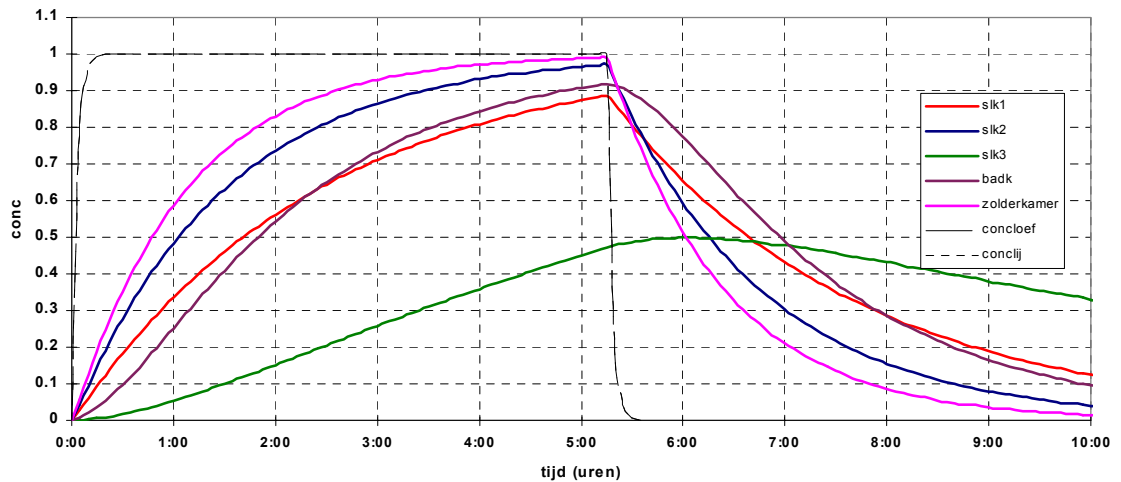


Figuur B5: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

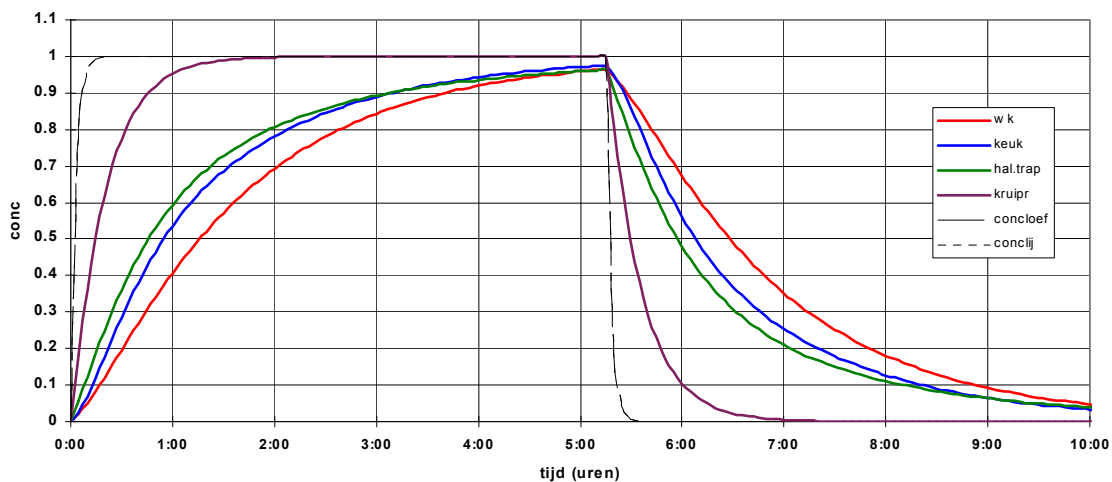
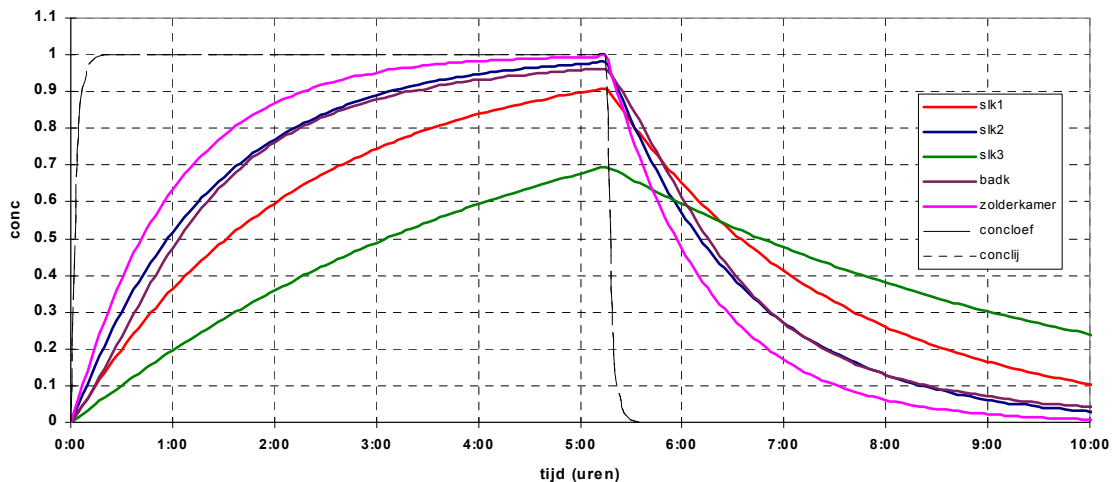
6: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. 21 dm³/s, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht



6: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. 21 dm³/s, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

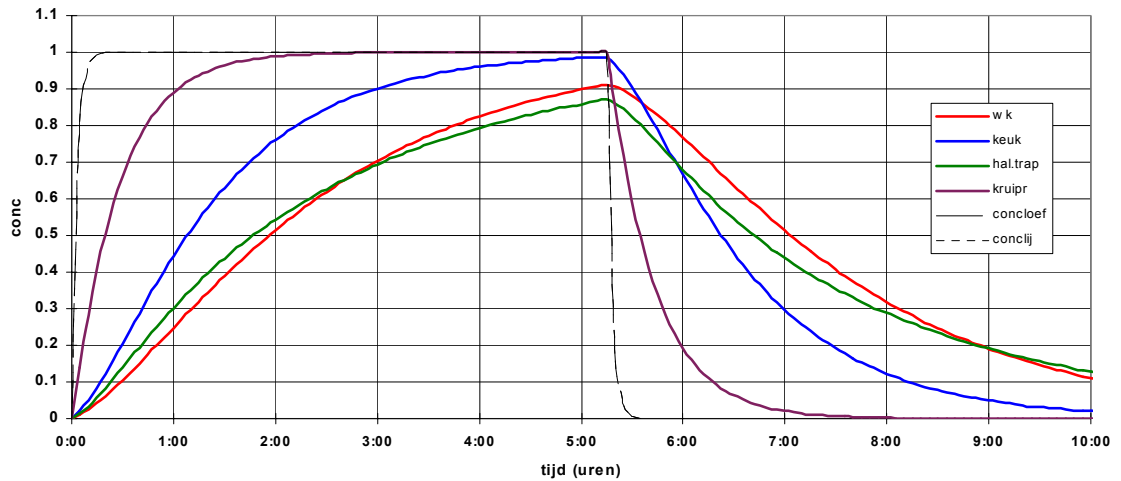


Figuur B6: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en mechanische afzuiging in laagstand (21 dm³/s) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronsscenario.

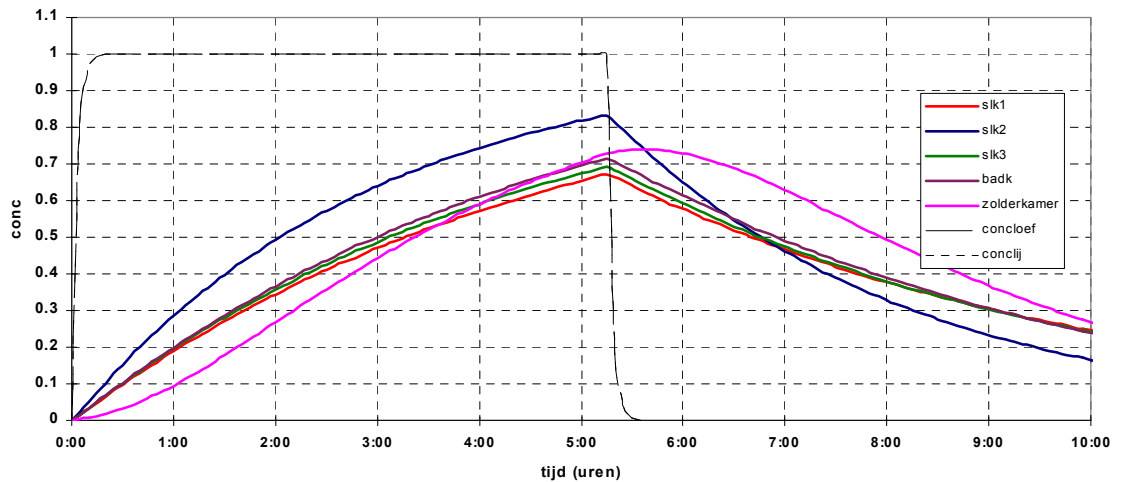
7: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $42 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht7: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $42 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

Figuur B7: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in hoogstand ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

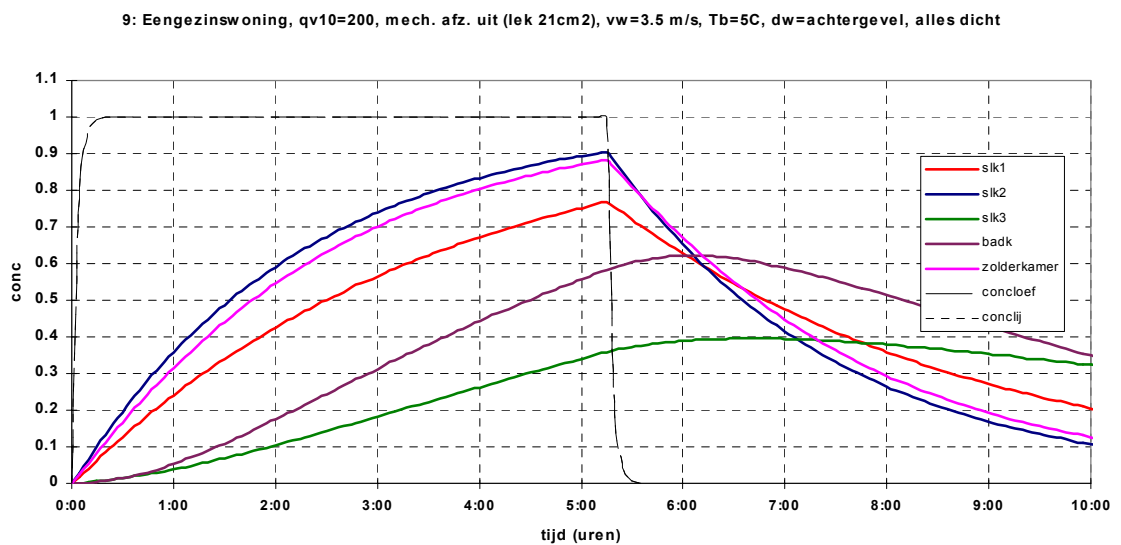
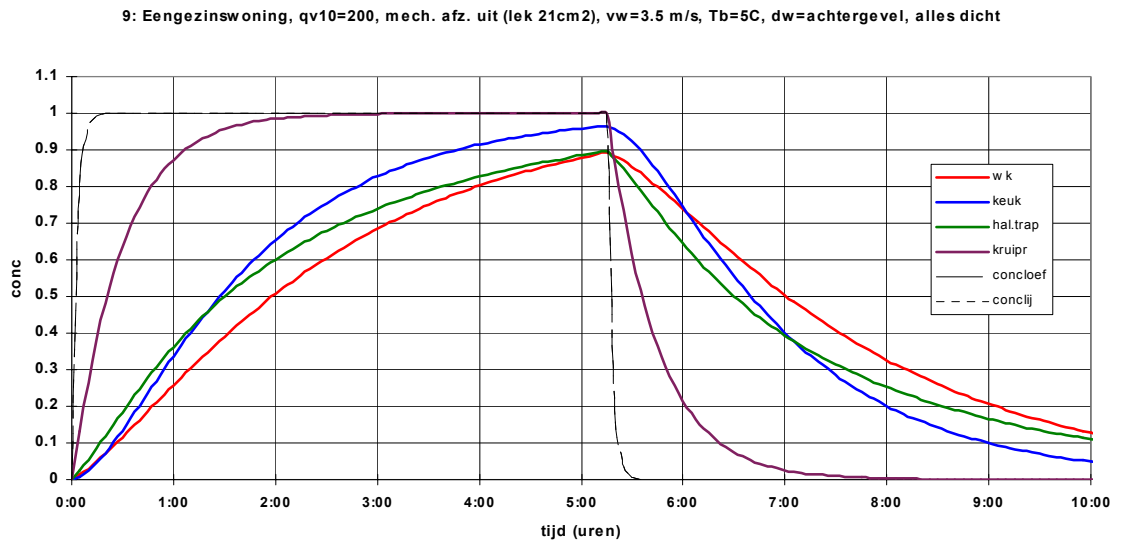
8: Eengezinswoning, $q_{v,10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht



8: Eengezinswoning, $q_{v,10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

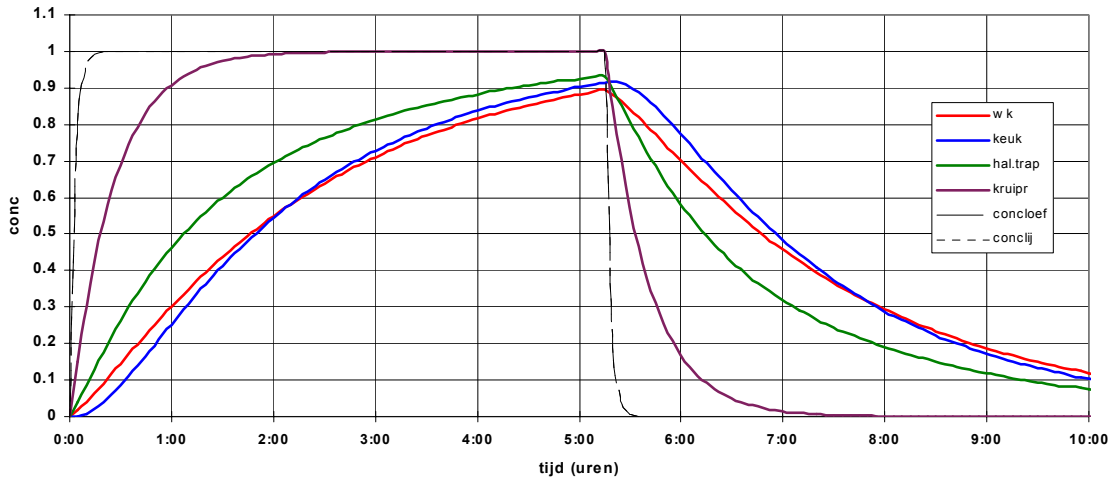


Figuur B8: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

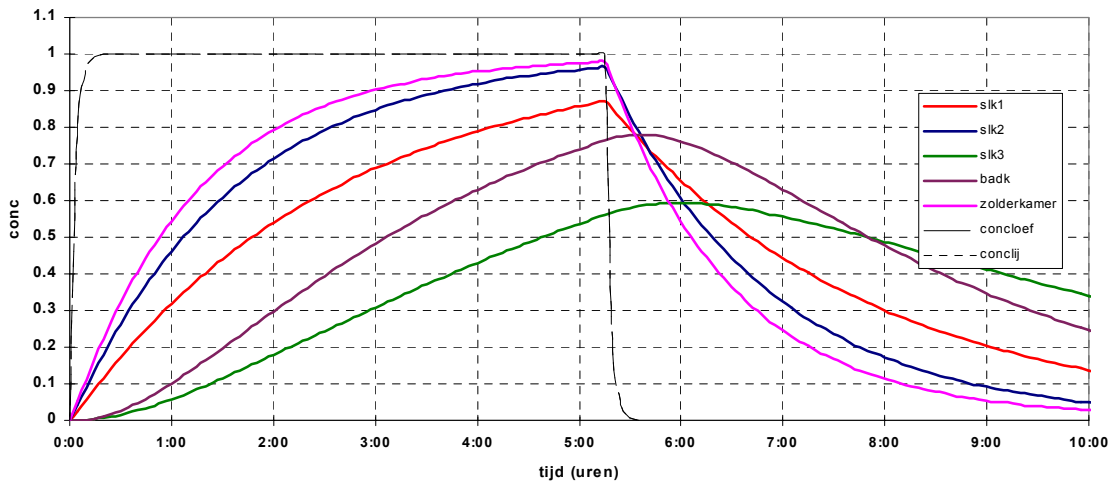


Figuur B9: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 3.5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

10: Eengezinswoning, $qv_{10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $vw=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, dw =achtergevel, alles dicht

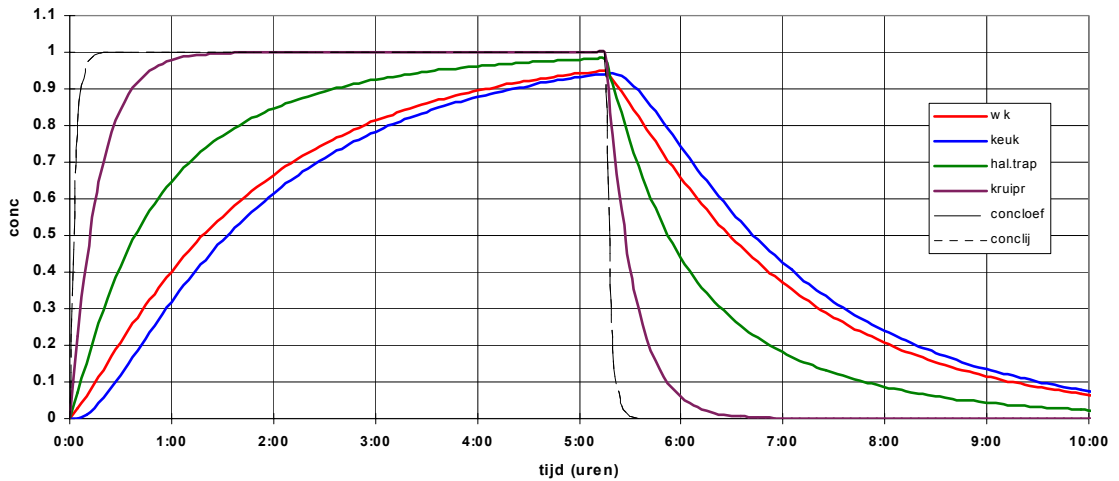


10: Eengezinswoning, $qv_{10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $vw=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, dw =achtergevel, alles dicht

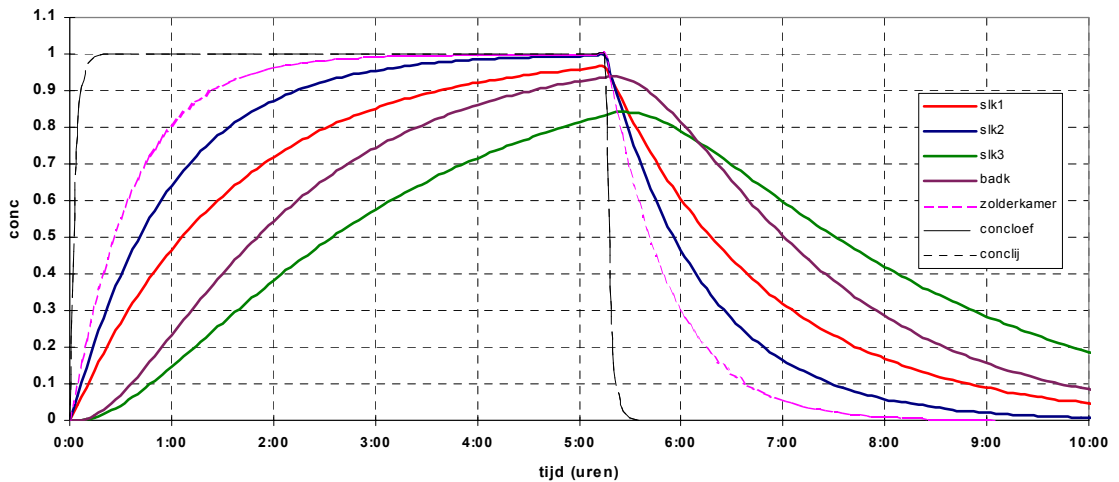


Figuur B10: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

11: Eengezinswoning, $qv_{10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=8$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

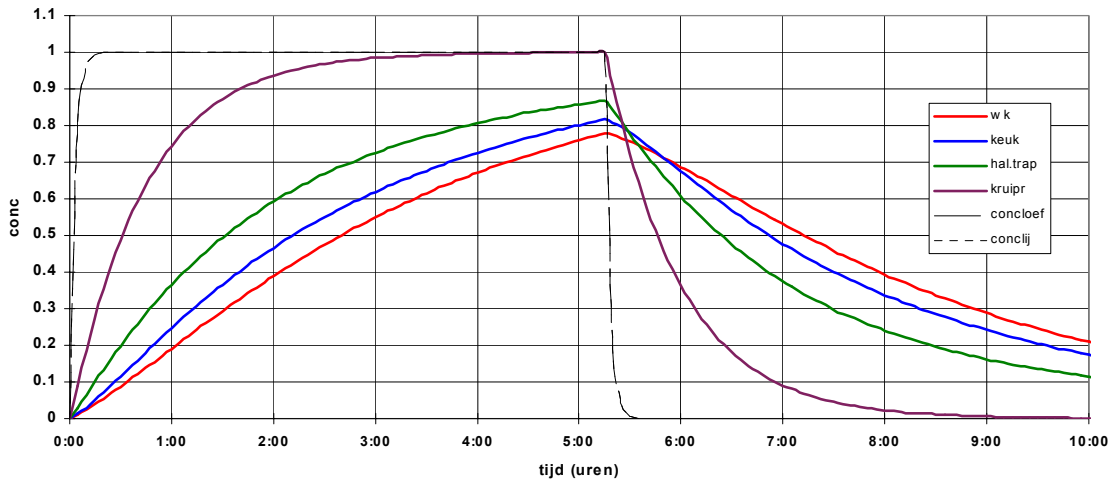


11: Eengezinswoning, $qv_{10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=8$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

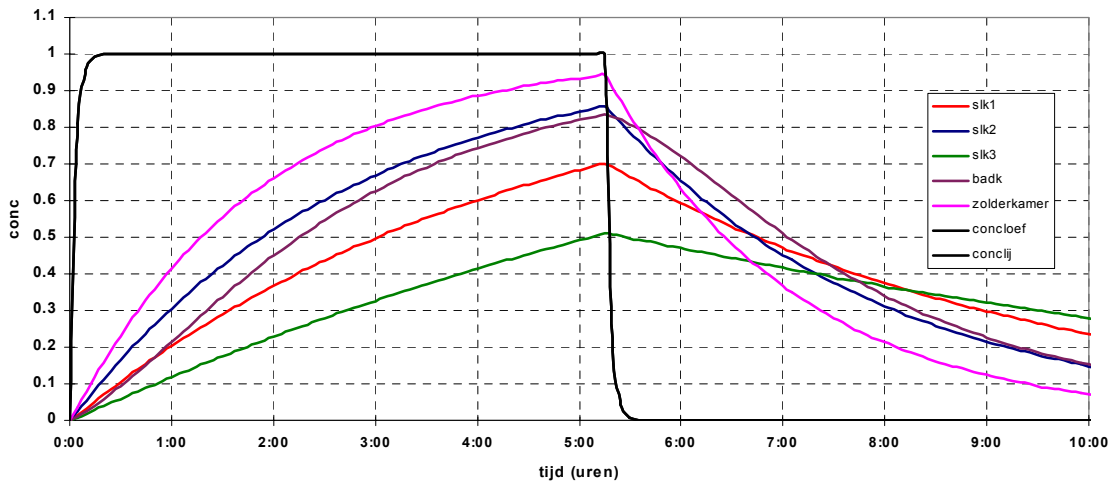


Figuur B11: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 8.5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

12: Eengezinswoning, $q_{v10}=100$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

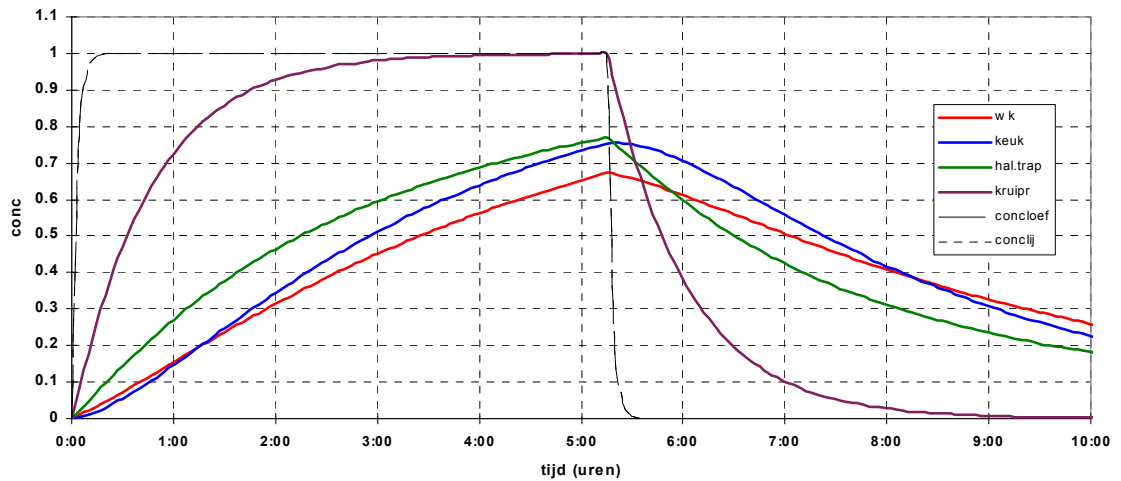


12: Eengezinswoning, $q_{v10}=100$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

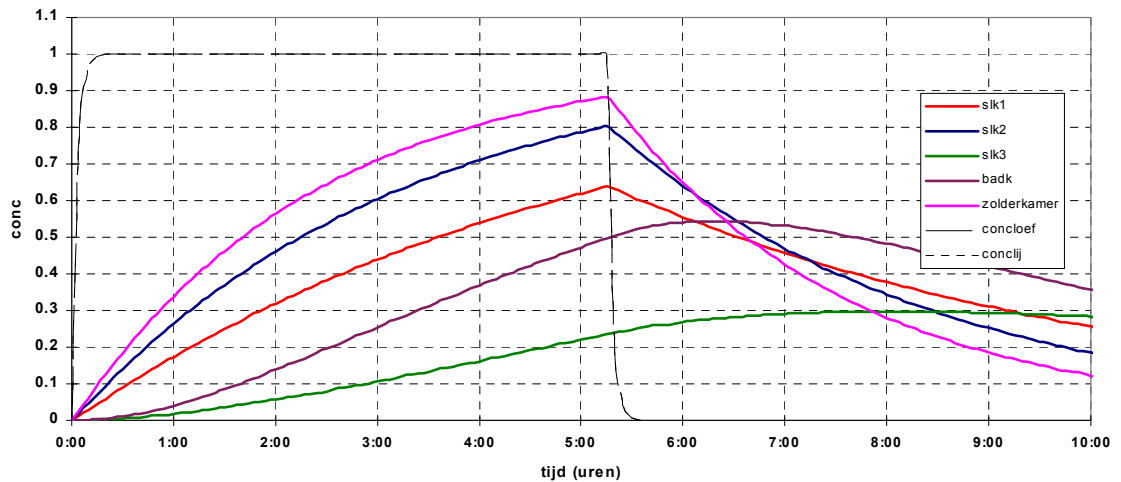


Figuur B12: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

13: Eengezinswoning, $qv_{10}=100$, mech. afz. uit (lek 21 cm²), $vw=5$ m/s, $T_b=5^{\circ}\text{C}$, dw =achtergevel, alles dicht

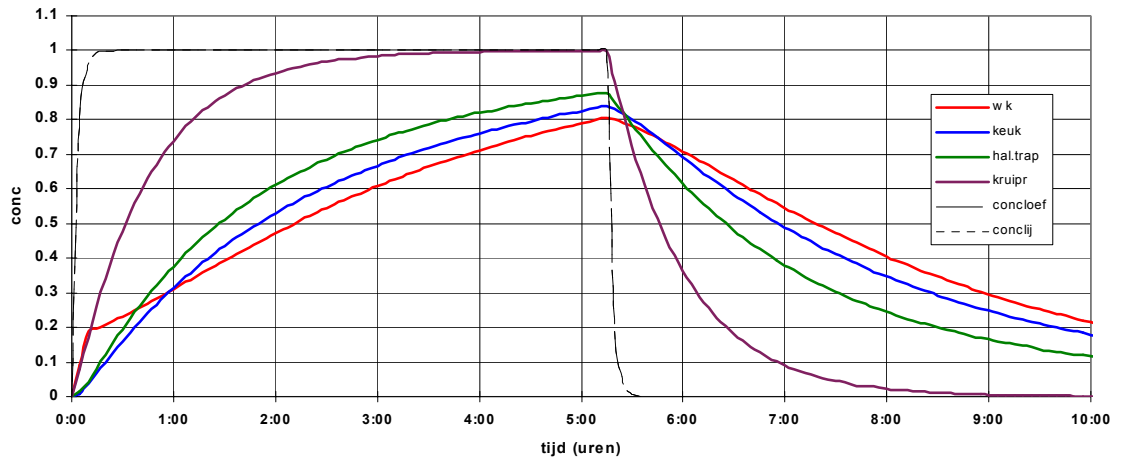


13: Eengezinswoning, $qv_{10}=100$, mech. afz. uit (lek 21 cm²), $vw=5$ m/s, $T_b=5^{\circ}\text{C}$, dw =achtergevel, alles dicht

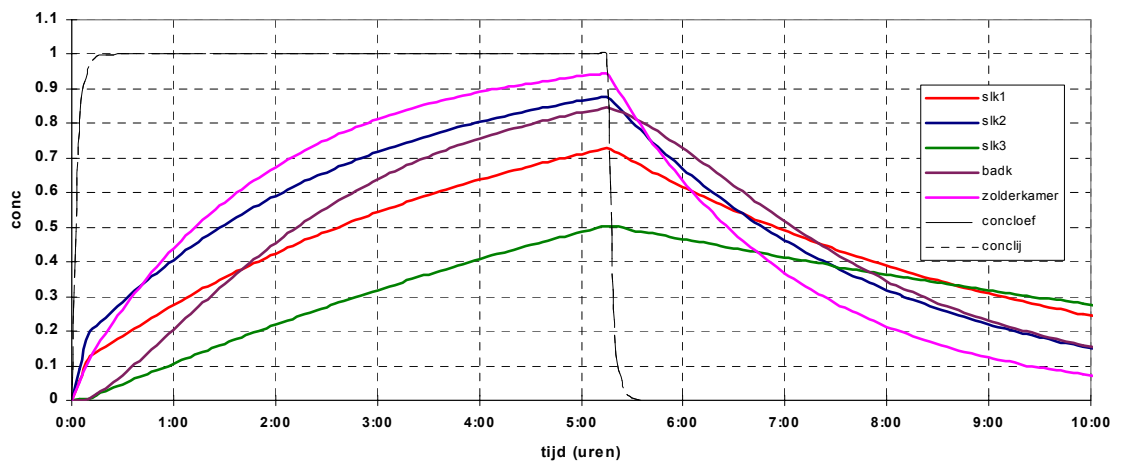


Figuur B13: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 100 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

14: Eengezinswoning, $q_{v10}=100$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, ramen eerst 10 min open dan alles dicht

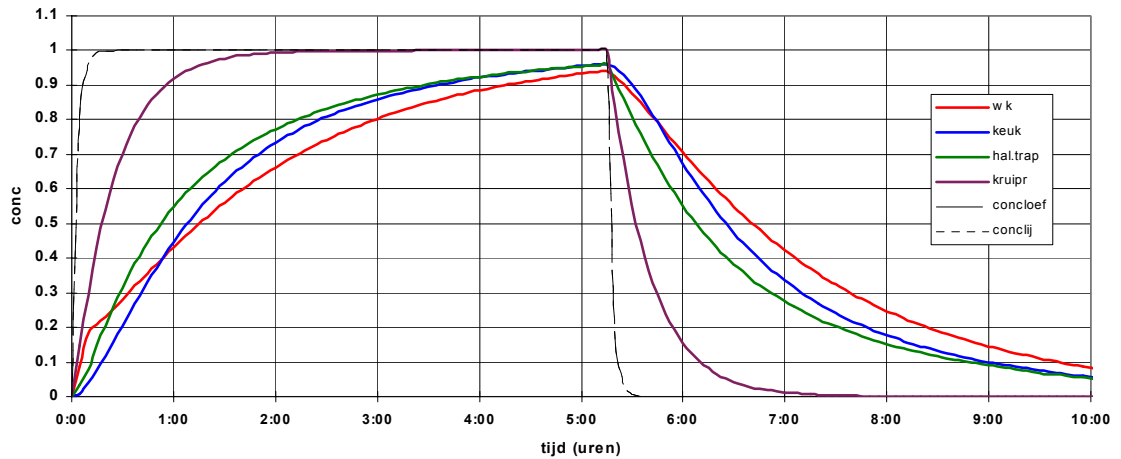


14: Eengezinswoning, $q_{v10}=100$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, ramen eerst 10 min open dan alles dicht

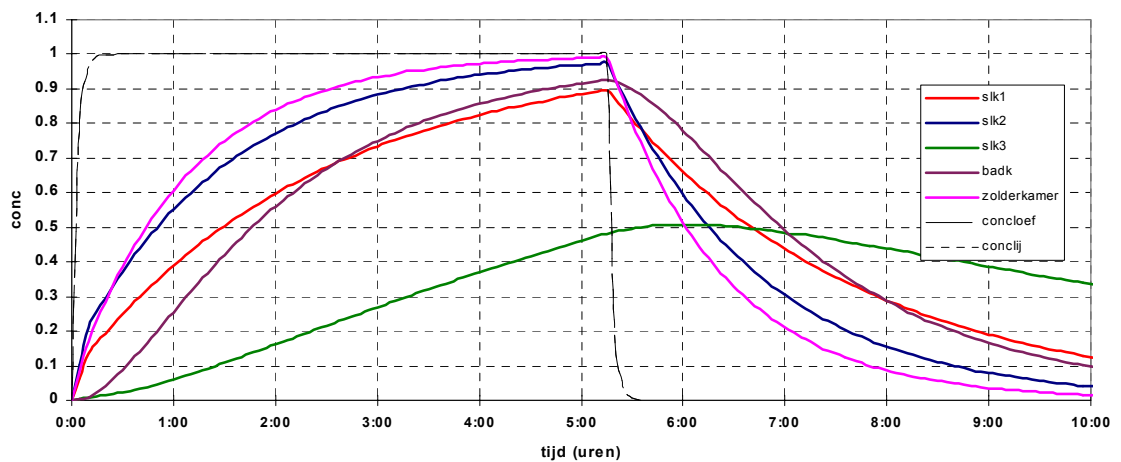


Figuur B14: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, ramen eerst 10 min. open dan alles dicht en lang bronscenario.

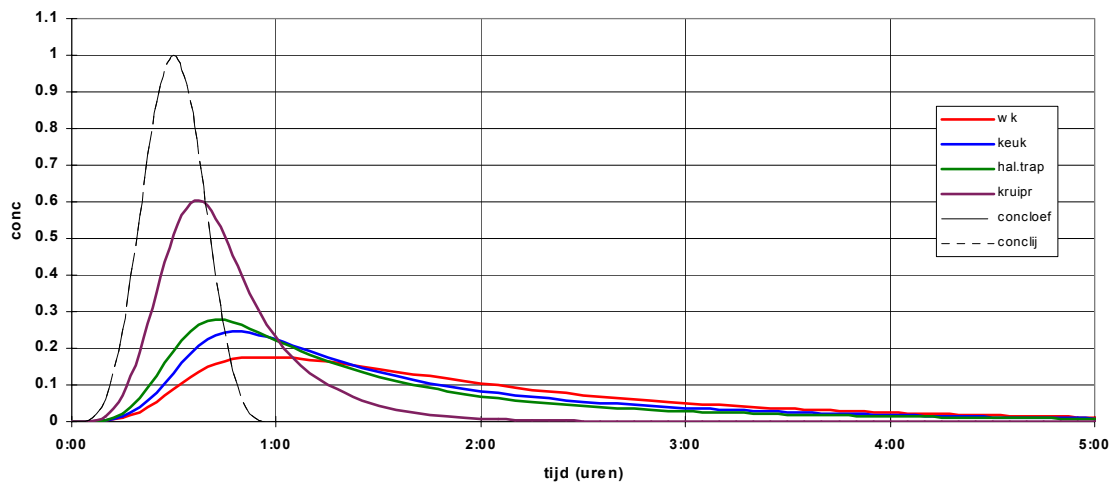
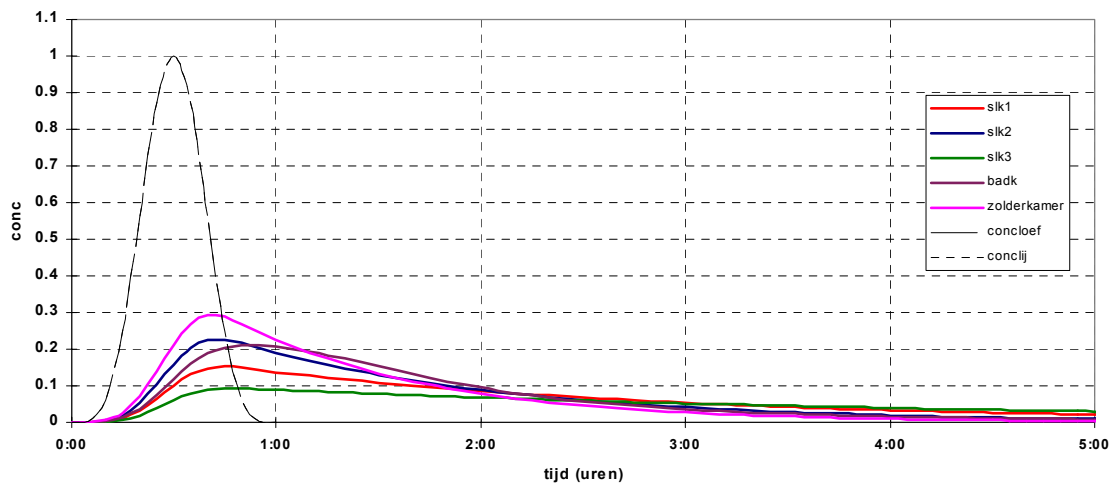
15: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, ramen eerst 10 min open dan alles dicht



15: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, ramen eerst 10 min open dan alles dicht

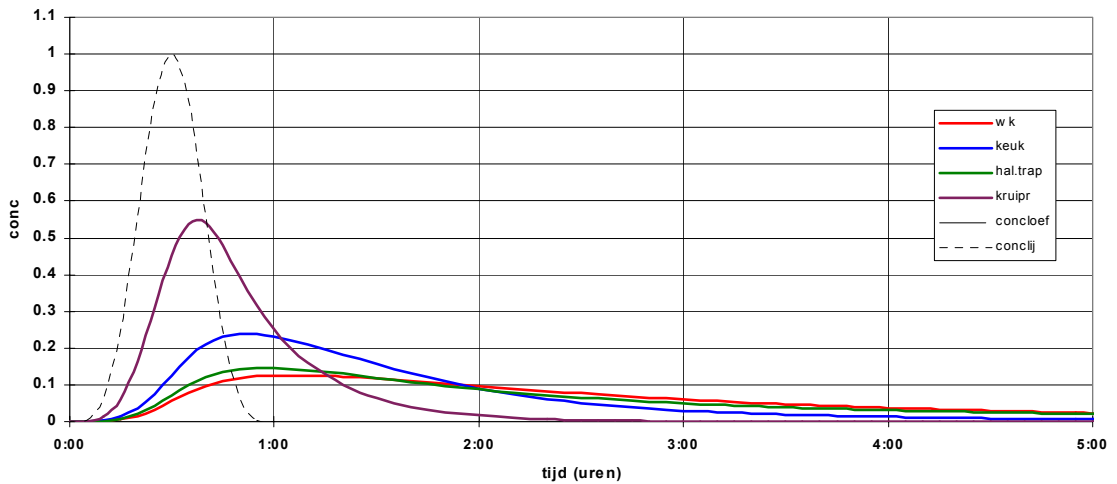


Figuur B15: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, ramen eerst 10 min. open dan alles dicht en lang bronscenario.

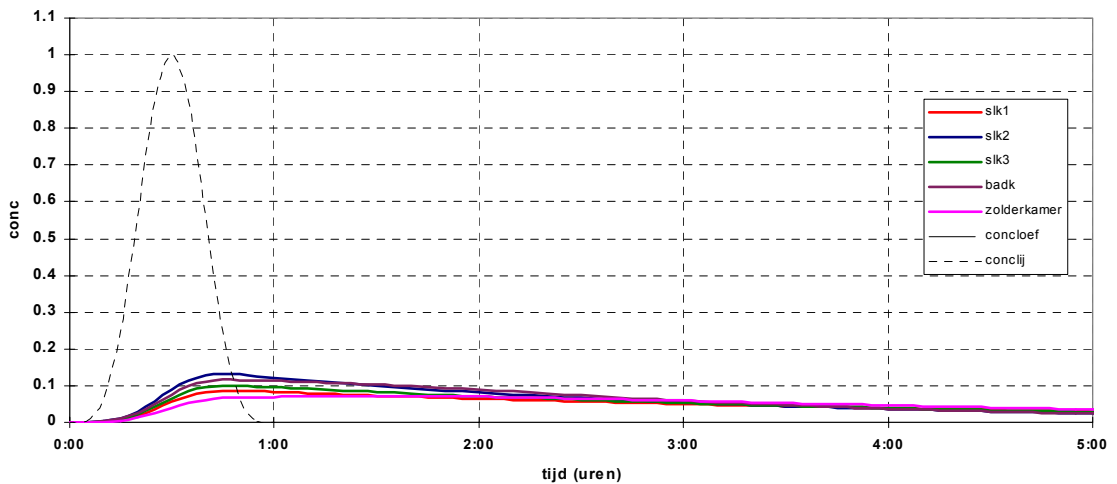
16: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent open, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht, kort16: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, nat vent open, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht, kort

Figuur B16: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en natuurlijk ventilatiesysteem bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoevoorzieningen in de gevels dicht en kort bronscenario.

17: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, alles dicht, kort

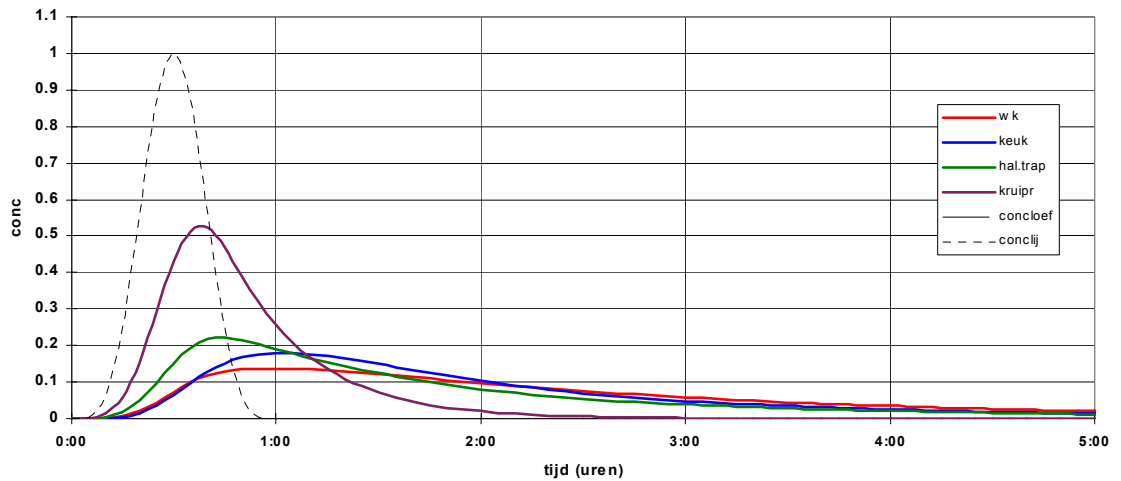


17: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, alles dicht, kort

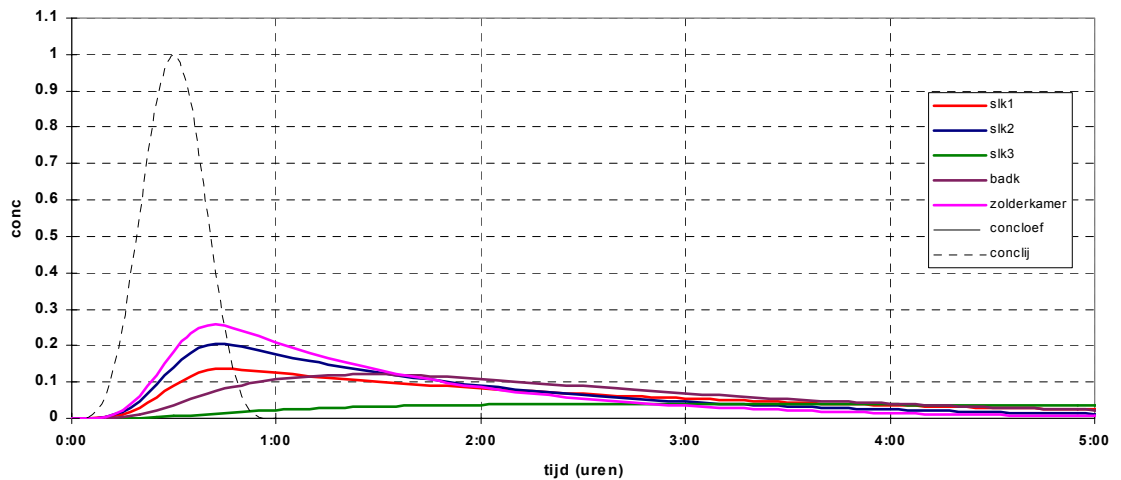


Figuur B17: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm^3/s en mechanische afzuiging in laagstand (21 dm^3/s) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en kort bronsscenario.

18: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht, kort

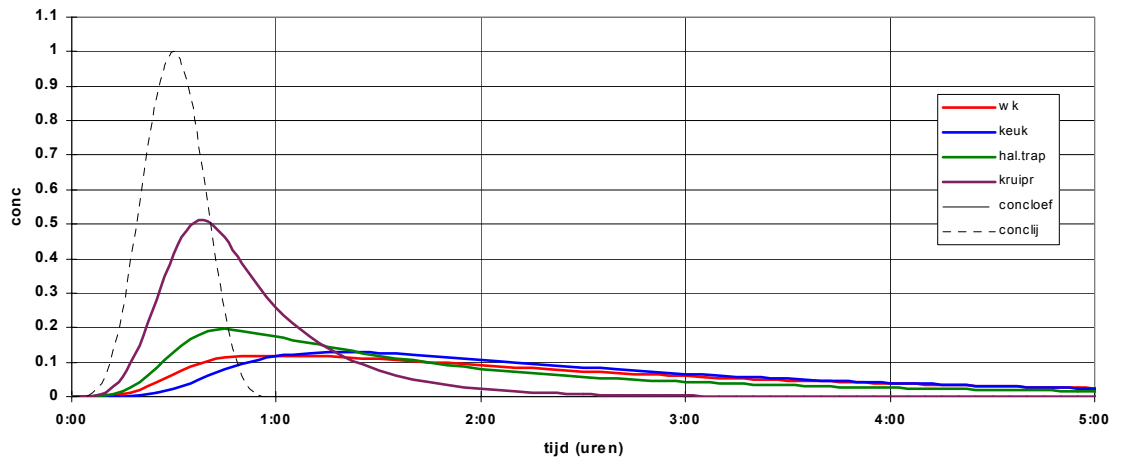


18: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. $21 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht, kort

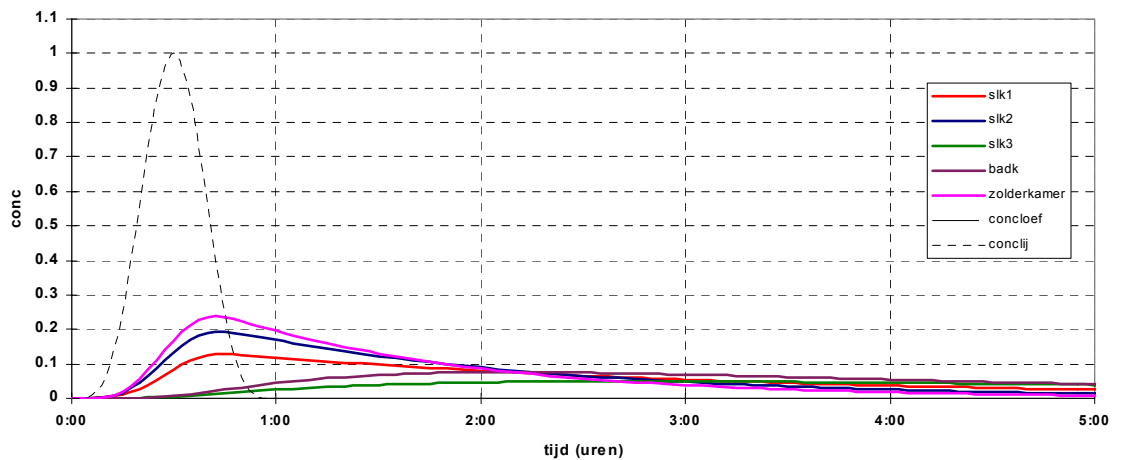


Figuur B18: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en kort bronsscenario.

19: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht, kort

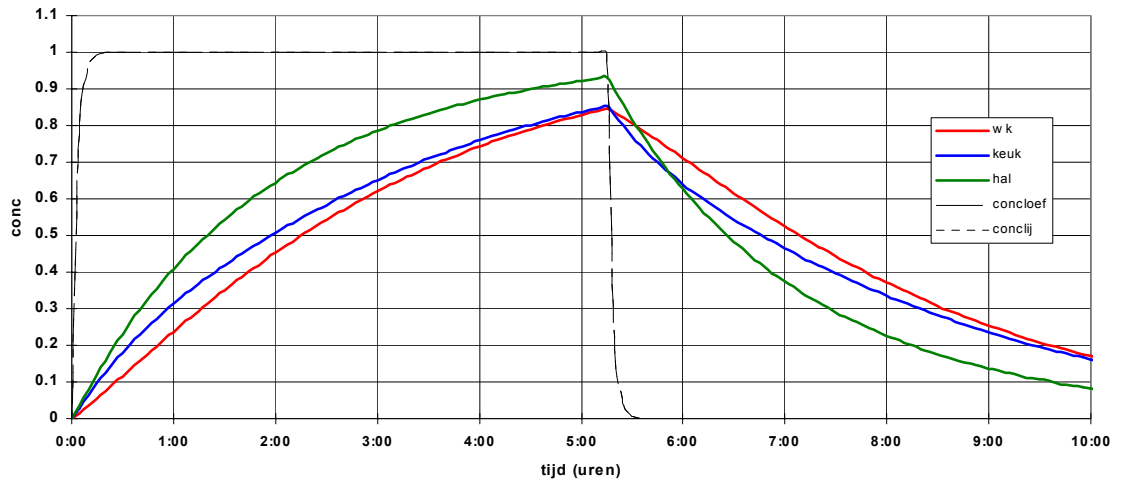


19: Eengezinswoning, $q_{v10}=200$, mech. afz. uit (lek 21cm²), $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht, kort

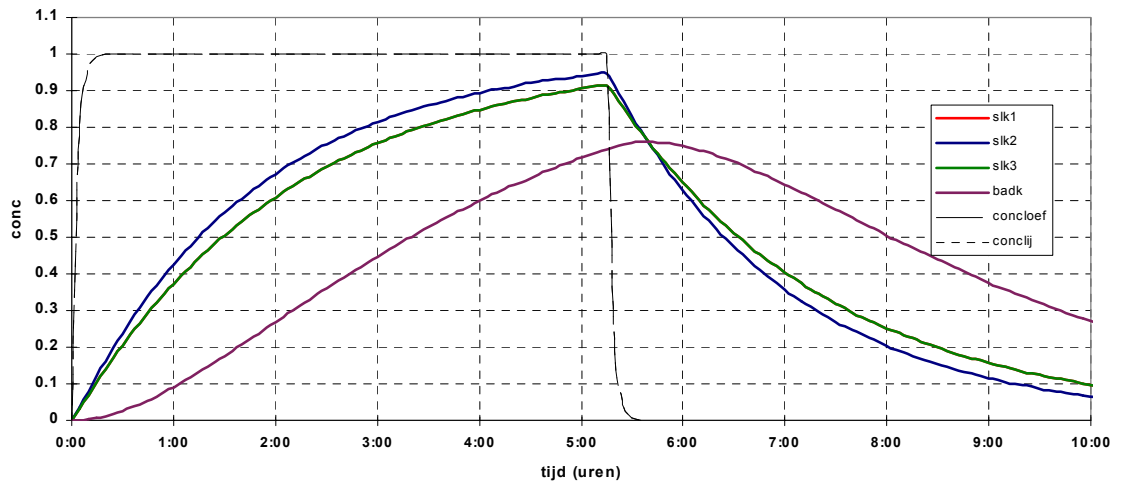


Figuur B19: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van 200 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en kort bronscenario.

20: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent open, $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

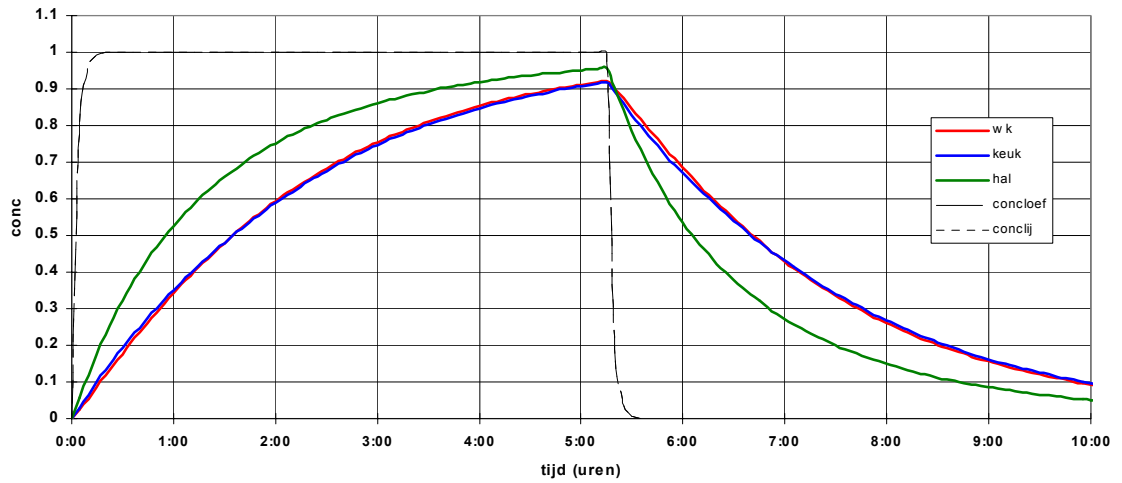


20: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent open, $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

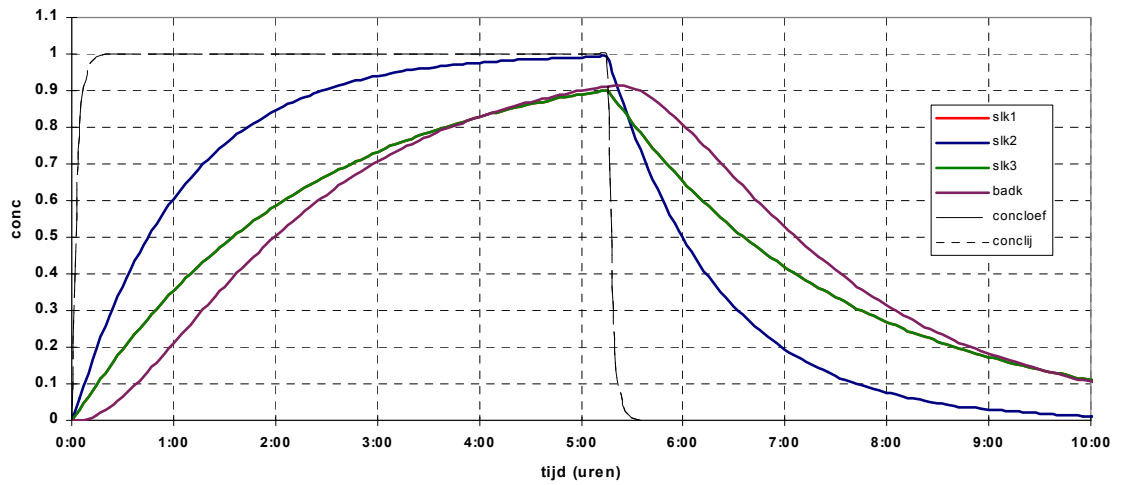


Figuur B20: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ en natuurlijk ventilatiesysteem bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

21: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent open, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

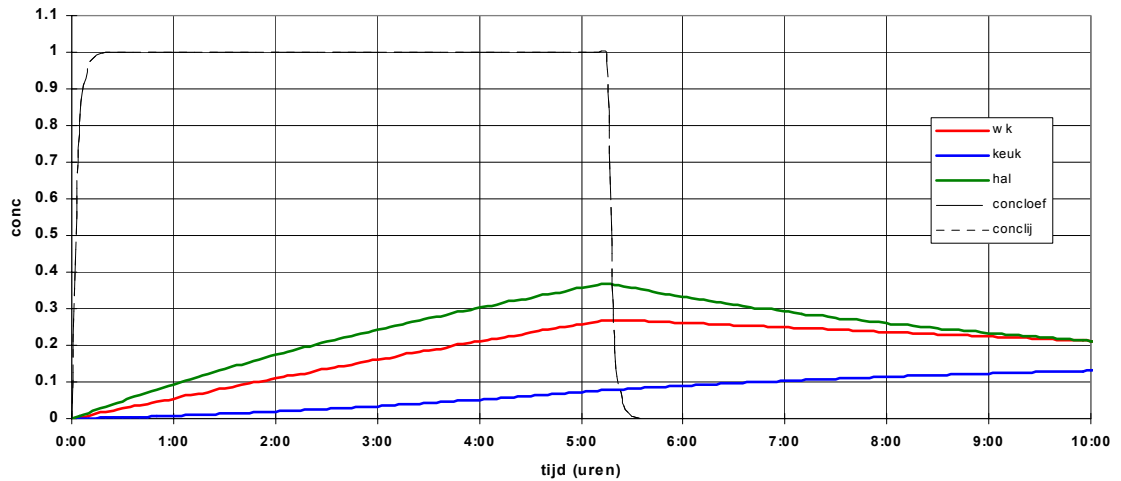


21: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent open, $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

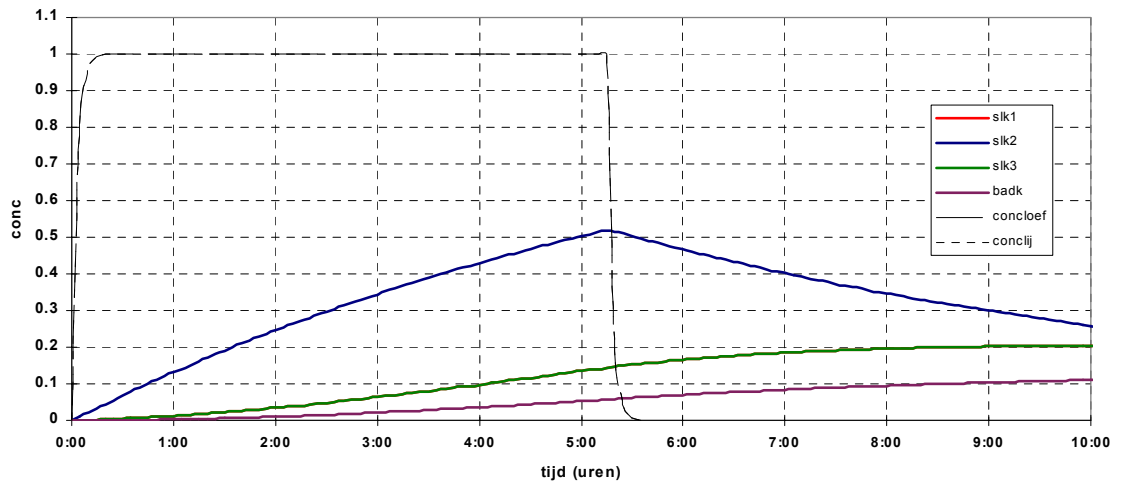


Figuur B21: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ en natuurlijk ventilatiesysteem bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

22: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=2\text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

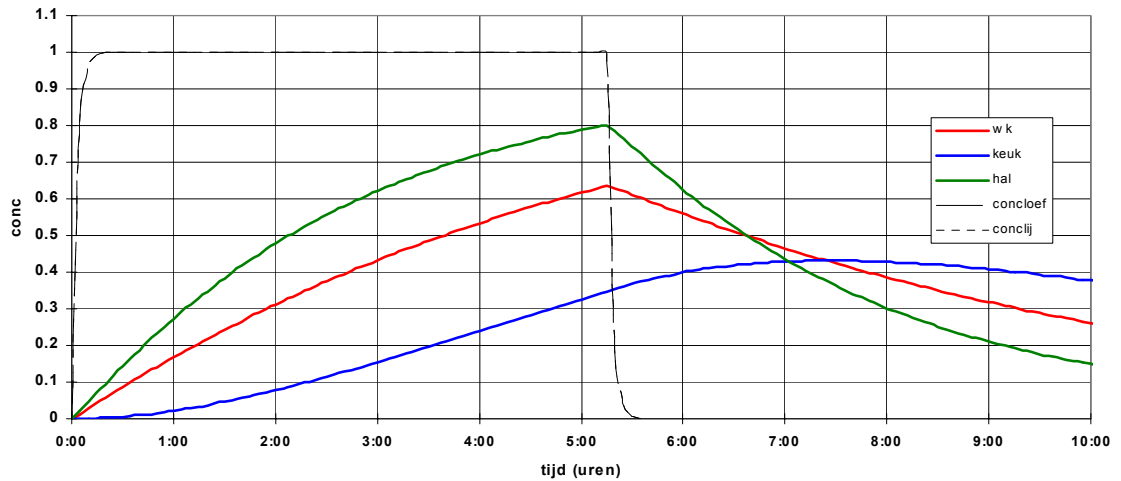


22: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=2\text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

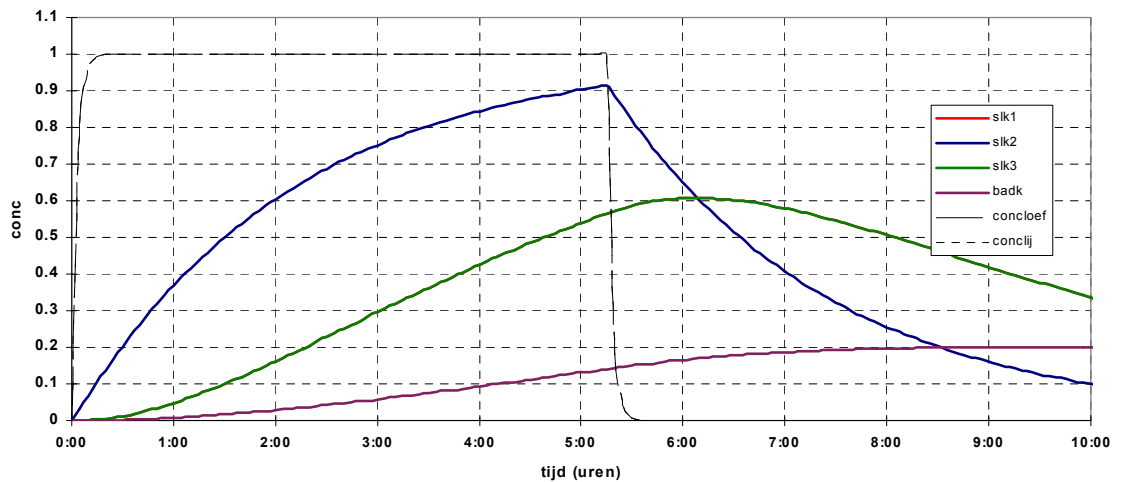


Figuur B22: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50\text{ dm}^3/\text{s}$ en afgeplakte natuurlijke ventilatiekanalen (lek 0 cm^2) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

23: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=5\text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

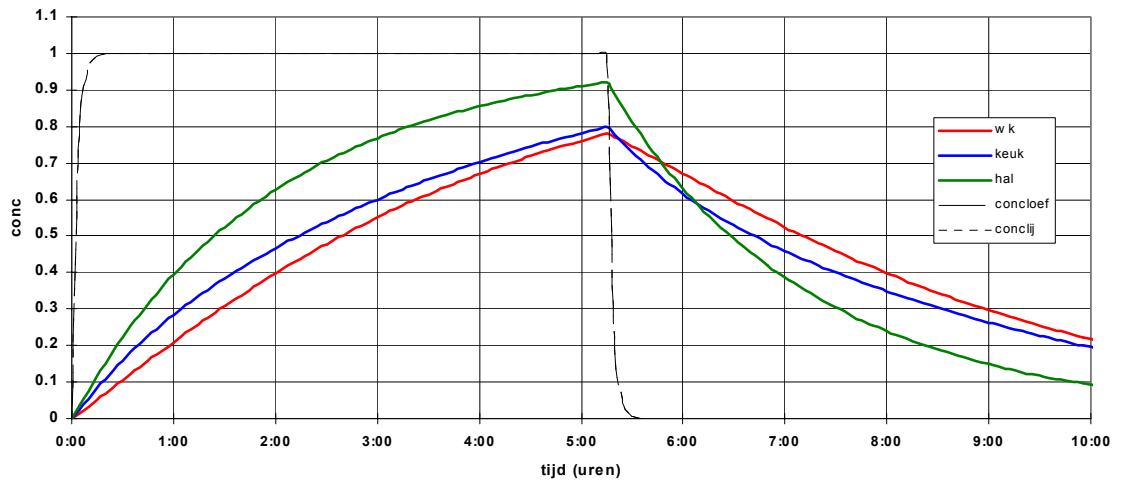


23: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, nat vent dicht (lek 0 cm^2), $v_w=5\text{ m/s}$, $T_b=5^\circ\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

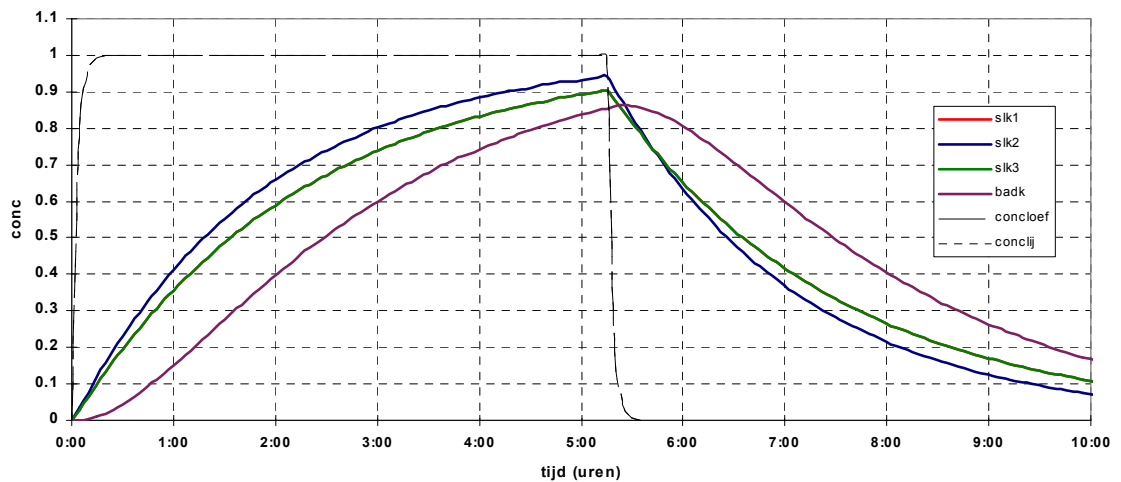


Figuur B23: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50\text{ dm}^3/\text{s}$ en afgeplakte natuurlijke ventilatiekanalen (lek 0 cm^2) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

24: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

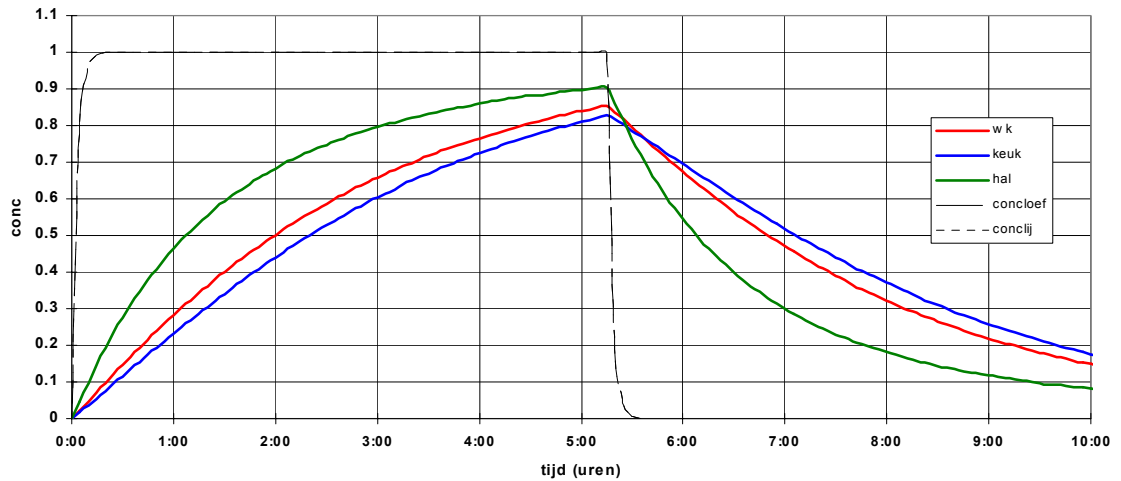


24: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. 21 dm^3/s , $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

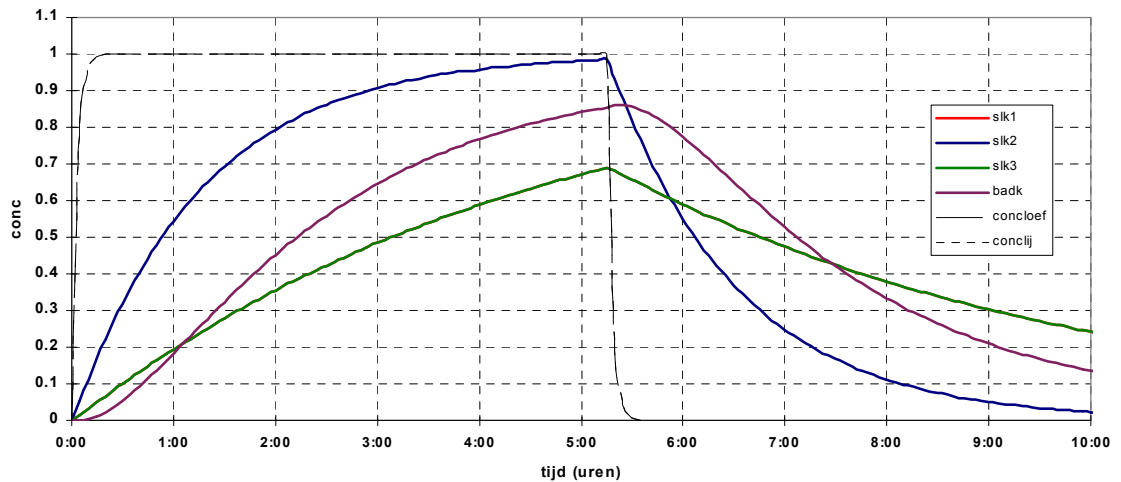


Figuur B24: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm^3/s en mechanische afzuiging in laagstand (21 dm^3/s) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

25: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. 21 dm³/s, $v_w=5$ m/s, $T_b=5$ C, d_w =achtergevel, alles dicht

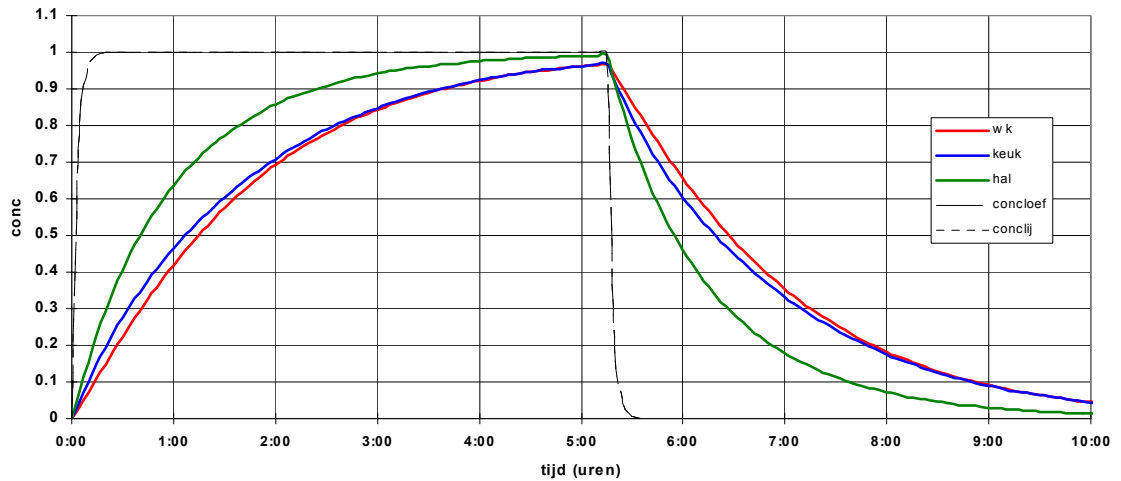


25: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. 21 dm³/s, $v_w=5$ m/s, $T_b=5$ C, d_w =achtergevel, alles dicht

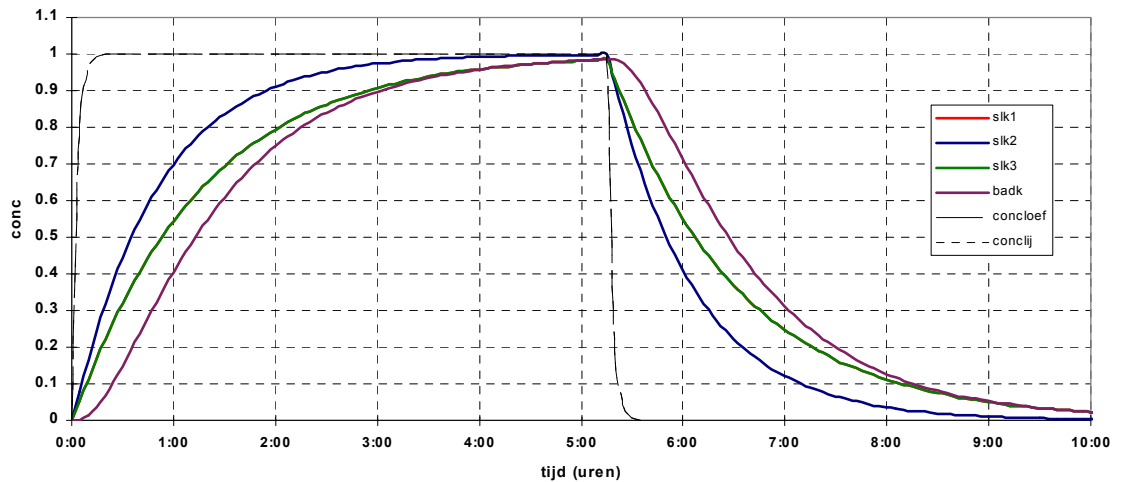


Figuur B25: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm³/s en mechanische afzuiging in laagstand (21 dm³/s) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

26: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. $42 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

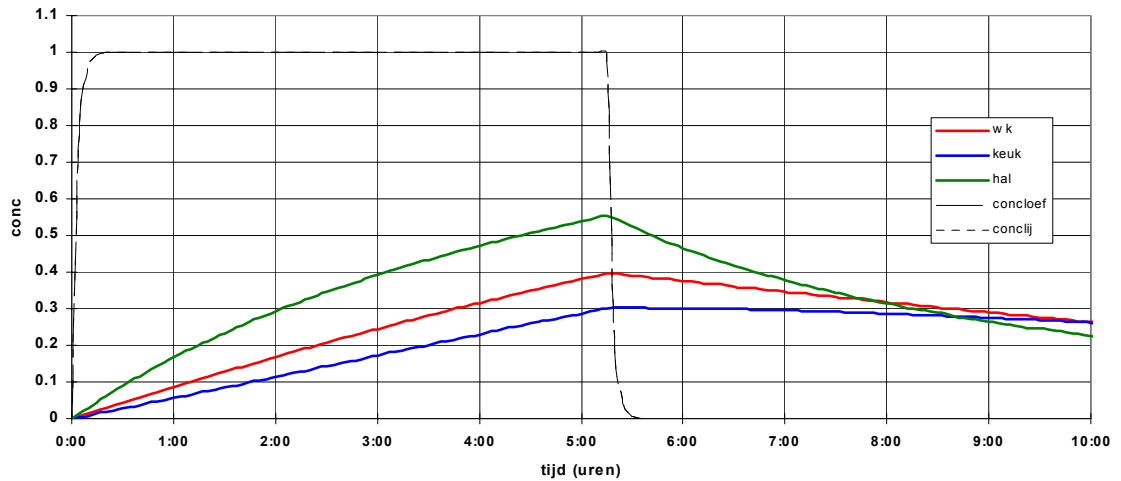


26: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech. afz. $42 \text{ dm}^3/\text{s}$, $v_w=5 \text{ m/s}$, $T_b=5\text{C}$, $d_w=\text{achtergevel}$, alles dicht

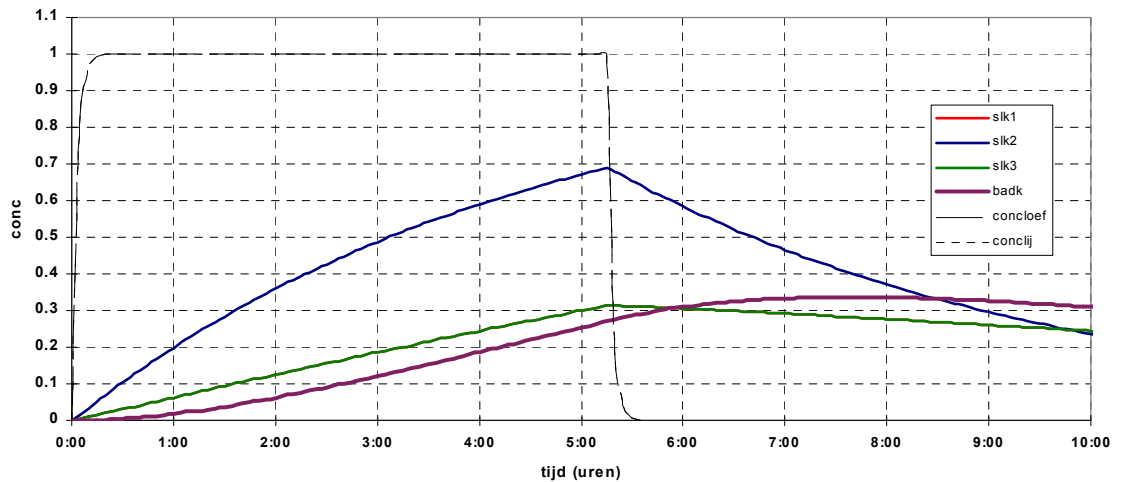


Figuur B26: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in hoogstand ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

27: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech afz uit (lek 21cm²), $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

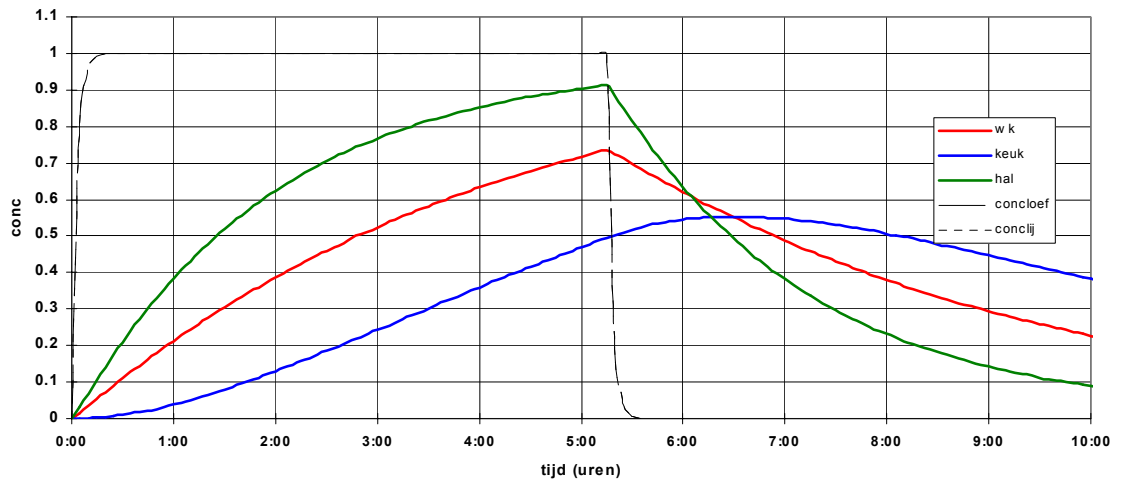


27: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech afz uit (lek 21cm²), $v_w=2$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht

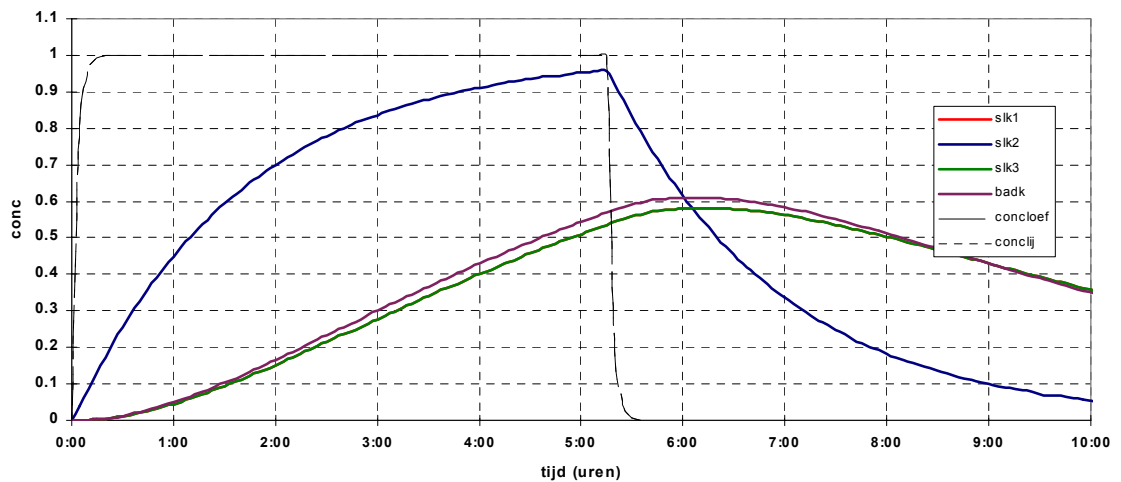


Figuur B27: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 2 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.

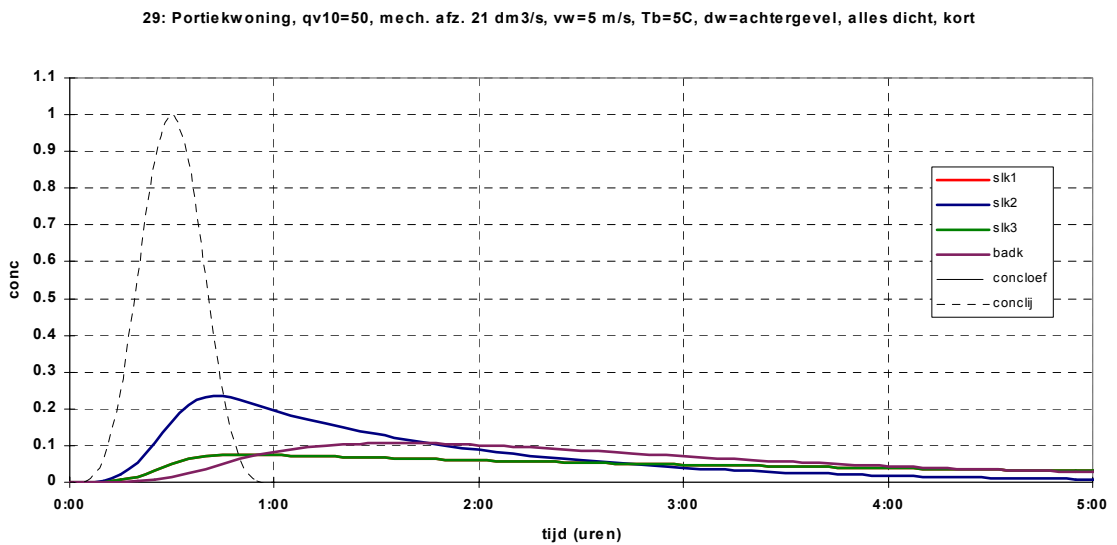
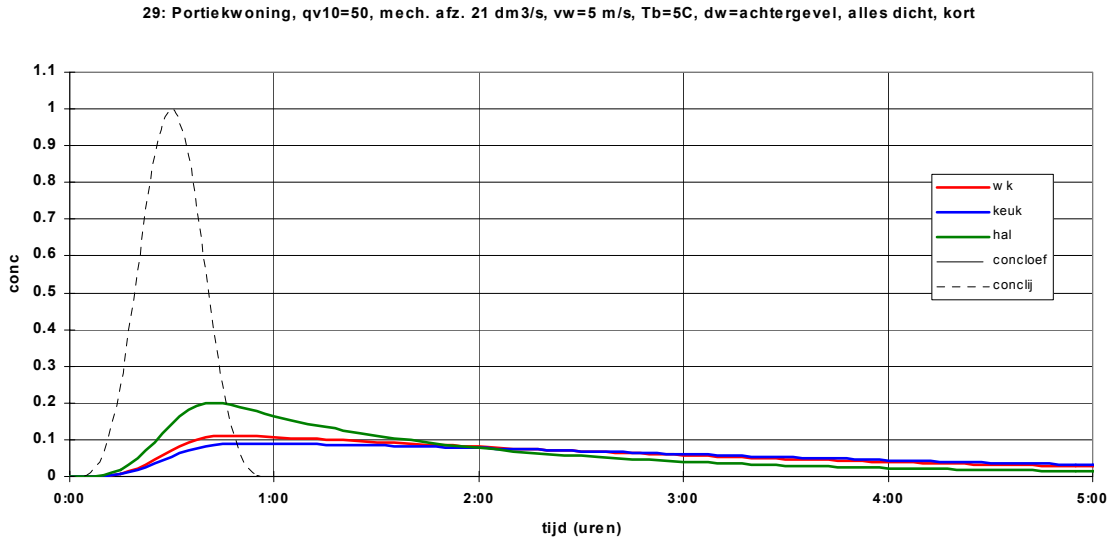
28: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech afz uit (lek 21cm²), $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht



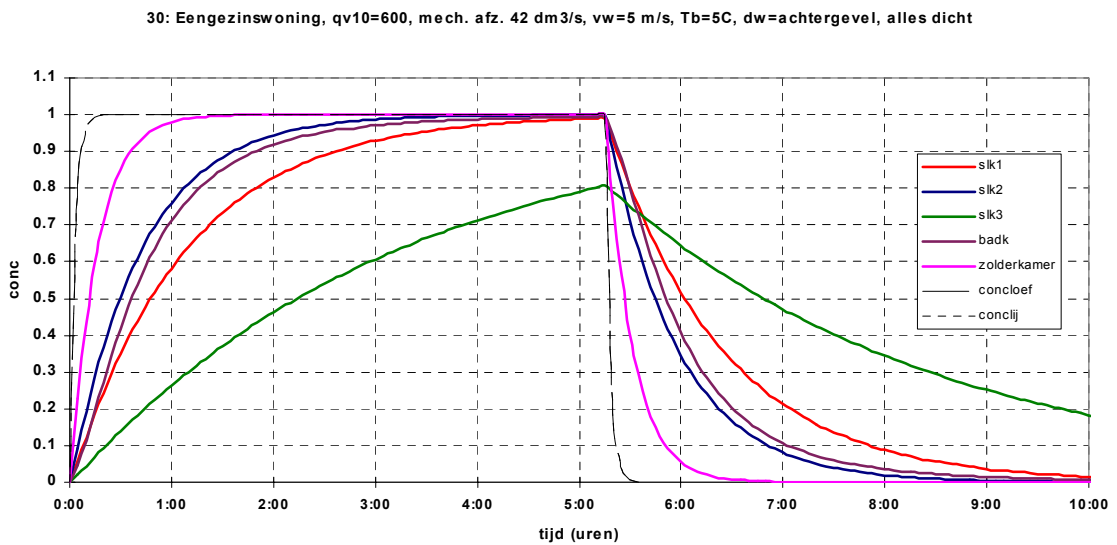
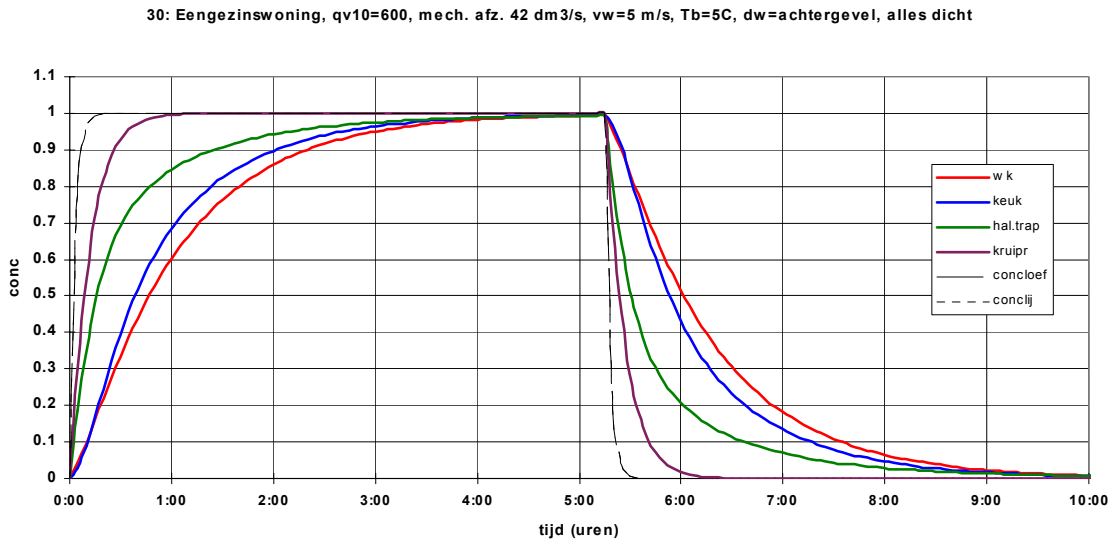
28: Portiekwoning, $q_{v10}=50$, mech afz uit (lek 21cm²), $v_w=5$ m/s, $T_b=5^\circ\text{C}$, d_w =achtergevel, alles dicht



Figuur B28: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van 50 dm³/s en uitgeschakelde mechanische afzuiging (lek 21 cm²) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.



Figuur B29: Concentratieverloop in portiekwoning met $q_{v,10}$ -waarde van $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in laagstand ($21 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en kort bronscenario.



Figuur B30: Concentratieverloop in eengezinswoning met $q_{v,10}$ -waarde van $600 \text{ dm}^3/\text{s}$ en mechanische afzuiging in hoogstand ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$) bij 5 m/s windsnelheid, 5°C buitentemperatuur, wind op achtergevel, alle toevoervoorzieningen in de gevels dicht en lang bronscenario.