

# Gebrand op inzicht

Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders



# Gebrand op inzicht

Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders

Versie: 1.3, 27 augustus 2015

Instituut Fysieke Veiligheid  
Brandweeracademie  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
www.ifv.nl  
info@ifv.nl  
026 355 24 00

### **Colofon**

Opdrachtgever: Brandweeracademie, met subsidie van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties

Contactpersoon: Drs. K. Groenewegen-ter Morsche

Titel: Gebrand op inzicht. Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders

Datum: 27 augustus 2015

Status: Eindrapport

Versie: 1.3

Auteurs: Dr. Ing. M. Kobes  
Drs. K. Groenewegen-ter Morsche

Projectleider: Drs. K. Groenewegen-ter Morsche

Review: Dr. Ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde  
Ing. R.R. Hagen MPA, lector Brandpreventie

Eindverantwoordelijk: Ing. R.R. Hagen MPA, lector Brandpreventie

# Voorwoord

Het verheugt mij u het onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders te kunnen presenteren. In eerste instantie zou het onderzoek een literatuurstudie en vragenlijstonderzoek omvatten om de effectiviteit van rookmelders vast te kunnen stellen. Met de mogelijkheid om als Brandweeracademie en Brandweer Nederland in gezamenlijkheid grootschalige praktijkproeven in sloopwoningen in Zutphen te organiseren, is het mogelijk geworden ook data te verzamelen met rookmelders in echte woningen bij daadwerkelijke branden. Hiermee geeft het onderzoek een brede en unieke inkijk in de effectiviteit van rookmelders.

Uit het onderzoek blijkt dat rookmelders, opgehangen volgens de huidige regelgeving en adviezen voor een minimale bescherming, al een belangrijke bijdrage leveren aan de veiligheid in woningen. Er is echter ook naar voren gekomen dat er situaties zijn waarin rookmelders onvoldoende effectief zijn gebleken voor bewoners om de woning tijdig en veilig te verlaten. Er zijn alternatieven onderzocht om de effectiviteit van rookmelders te verbeteren, zoals: het koppelen van rookmelders, rookmelders anders positioneren, het gebruik van een ander type rookmelder en het uitbreiden van het aantal rookmelders in de woning.

Dit onderzoek is mede uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, met betrokkenheid en medewerking van velen. Ik wil graag iedereen die op enigerlei wijze betrokken is geweest bedanken, waarvan enkelen in het bijzonder. Bij het vragenlijstonderzoek hebben de Teams Brandonderzoek (TBO) van de Veiligheidsregio Noord- en Oost Gelderland en Veiligheidsregio Drenthe voor alle woningbranden gedurende een half jaar een vragenlijst ingevuld. Wij danken hen hartelijk voor deze inspanningen. Het databaseonderzoek kon worden uitgevoerd dankzij medewerking van Brandweer Nederland door de database TBO ter beschikking van het onderzoek te stellen. Bij het praktijkonderzoek in Zutphen hebben onder andere de gemeente Zutphen, woningbouwcorporatie Ieder1, buurtbewoners en bedrijven in de buurt medewerking verleend. Ook hebben vele collega's uit het land, waaronder leden van de Teams Brandonderzoek en medewerkers van diverse brandweerkorpsen geholpen, in de onderzoeksgroep respectievelijk de veiligheidsploeg. Ook de medewerkers van Sprue Safety Products Ltd. willen wij danken voor hun medewerking bij het leveren en prepareren van de rookmelders en het helpen bij de registratie van de alarmtijden. Zonder hulp van al deze mensen was het niet mogelijk geweest dit onderzoek uit te voeren.

In het laatste hoofdstuk van dit rapport is een overzicht gegeven van de conclusies en aanbevelingen, welke volgen uit het onderzoek. Sommige aanbevelingen zijn vooral bedoeld voor beleidsmakers, anderen voor degenen die brandveiligheidsvoorlichting geven aan burgers. Ik hoop oprecht dat de aanbevelingen hun weg vinden in beleid en voorlichting, zodat door de combinatie van onderzoek, beleid en voorlichting gezamenlijk gewerkt wordt aan het optimaliseren van een brandveilige leefomgeving.

René Hagen  
Lector Brandpreventie



# Managementsamenvatting

Rookmelders worden steeds meer toegepast in woningen, en zijn in bepaalde situaties verplicht. Er zijn echter voorbeelden bekend, waarbij ondanks een werkende rookmelder toch slachtoffers zijn gevallen. Dit onderzoek richt zich daarom op de effectiviteit van rookmelders. De focus ligt daarbij op de beperkingen aan de effectiviteit van rookmelders bij woningbranden. Hierbij zijn ook aanpassingen of alternatieven onderzocht om de effectiviteit te verbeteren. Met de effectiviteit van rookmelders wordt bedoeld op een snelle detectie van brand en een snelle alarmering van de (slapende) aanwezigen, waardoor de bewoners tijdig kunnen vluchten.

In dit onderzoek wordt ingegaan op de aanwezigheid, projectering en het functioneren<sup>1</sup> van rookmelders. Dit is door middel van literatuurstudie onderzocht. De effectiviteit is vervolgens bepaald aan de hand van een combinatie van literatuuronderzoek, het gebruik van bestaande databases<sup>2</sup>, incidentonderzoek<sup>3</sup> en een unieke serie praktijkexperimenten in sloopwoningen in Zutphen. In de volledig ingerichte woningen zijn rookmelders opgehangen in alle verkeers- en verblijfsruimten, en zijn tevens temperatuur, koolstofmonoxide, zuurstof, stikstofoxiden, straling gemeten. Ook was de woning voorzien van camera's. In totaal zijn zes woningbranden gebruikt met verschillende ontstaansruimten en ontstaansobjecten. Ook werd er gevarieerd met het openen en sluiten van de binnendeuren.

Op basis van de resultaten zijn ook alternatieven op de huidige uitgangspunten in regelgeving en adviezen geanalyseerd om te zien hoe de effectiviteit van rookmelders verbeterd kan worden. De onderzochte maatregelen zijn het plaatsen van thermische in plaats van optische melders in de verkeersruimten, het sluiten van binnendeuren bij niet-gekoppelde rookmelders in de verkeersruimten, het koppelen van optische rookmelders in de verkeersruimten, het koppelen van optische rookmelders in de verkeersruimten én de brandruimte. De conclusies en aanbevelingen worden hieronder weergegeven. Voor een toelichting op de conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

## Onderzoeksvraag 1: Hoe is het op dit moment gesteld met de aanwezigheid, de projectering en het functioneren van rookmelders in woningen?

Het onderzoek naar de huidige situatie van de aanwezigheid, de projectering en het functioneren van rookmelders leidt tot de volgende bevindingen, geformuleerd in conclusies en aanbevelingen:

### Conclusies en aanbevelingen

Conclusie 1: Het percentage woningen waarin een rookmelder aanwezig is, is met circa 70% relatief hoog. Het aantal woningen waar de rookmelder werkt (circa 45%) of werkt én op de juiste plek hangt (circa 35%) is echter relatief laag.

Aanbeveling 1: Verhoog het percentage woningen met juist geplaatste en werkende rookmelders in Nederland.

<sup>1</sup> Onder functioneren wordt verstaan dat de rookmelders werken, op de juiste plaats hangen om brand snel te detecteren en het geluid van het alarmsignaal zodanig is dat de (slapende) aanwezigen in de woning gealarmeerd worden.

<sup>2</sup> Database WoOn, database Fatale Woningbranden en database Team Brand Onderzoek.

<sup>3</sup> Over de woningbranden in Veiligheidsregio's Drenthe en Noord-Oost-Gelderland zijn gedurende de periode van 1 juli tot en met 31 december 2014 gegevens verzameld via een digitale vragenlijst.

Conclusie 2: Het leegraken van batterijen en het onklaar maken als gevolg van hinderlijke activering zijn belangrijke oorzaken voor het niet functioneren van rookmelders.

Aanbeveling 2: Stimuleer het gebruik van rookmelders op het lichtnet of met een batterij met een lange levensduur (bijvoorbeeld 10 jaar) en adviseer maatregelen om hinderlijke activeren te voorkomen.

Conclusie 3: Rookmeldercampagnes leiden vooral tot een toename van het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats als de rookmelder door het voorlichtingsteam zelf geïnstalleerd wordt en er herhaalde aandacht is voor blijvend onderhoud.

Aanbeveling 3: Laat bij rookmelderacties de rookmelder ophangen door het voorlichtingsteam en zorg voor opvolgacties.

Conclusie 4: Het in wetgeving verplicht stellen van aanwezigheid van functionerende rookmelders in alle woningen kan een doeltreffende maatregel zijn. Handhaafbaarheid is hierbij een aandachtspunt.

Aanbeveling 4: Overweeg het verplicht stellen van rookmelders, ook voor woningen die gebouwd zijn voor 2003.

## **Onderzoeksvraag 2: Wat is de effectiviteit van rookmelders, uitgegaan van de huidige regelgeving (Bouwbesluit) en adviezen van de brandweer, en welke brandkenmerken, gebouwkenmerken, menskenmerken en rookmelderkenmerken spelen hierbij een rol?**

Uit het onderzoek blijkt dat rookmelders in het algemeen bescherming bieden doordat zij de aanwezigen vroegtijdig alarmeren waardoor er tijd is om te vluchten. Relevante brandkenmerken zijn het materiaal dat brandt, of het een smeul- of vlammenbrand is, de locatie van de vuurhaard en de mate waarin en de wijze waarop de rook zich verspreidt. Relevante gebouwkenmerken zijn aanwezigheid, dekking en locatie van de rookmelders en het sluiten van binnendeuren. Wat betreft de menskenmerken blijkt dat er bepaalde groepen zijn die relatief vaak geen werkende rookmelder hebben. Ook gehoor en wekvermogen en de mate van zelfredzaamheid<sup>4</sup> zijn van invloed op de effectiviteit van rookmelders. Relevante rookmelderkenmerken zijn het type rookmelder, de geluidsterkte (volume) inclusief geluidsreductie en de mogelijkheid om rookmelders onderling te koppelen.

### Conclusies en aanbevelingen

Conclusie 5: Rookmelders in de verkeersruimten zijn ten opzichte van de situatie zonder rookmelders effectiever. Wel is de beschikbare vluchttijd na alarmering soms beperkt tot nihil. Een snelle ontvluchting na alarmering is daarom noodzakelijk.

Aanbeveling 5: Blijf in publieksvoorlichting het belang van het plaatsen van rookmelders in woningen voor een snelle detectie van brand benadrukken. Wijs erop dat na het afgaan van de rookmelder zo snel mogelijk gevlucht moet worden naar een veilige plaats.

---

<sup>4</sup> Voor 'zelfredzaamheid' is de volgende definitie gehanteerd: zelfredzaamheid (bij brand) is het menselijk vermogen om signalen van gevaar waar te nemen en uit te voeren die gericht zijn op het overleven van een brandsituatie (Kobes, 2008). In dit onderzoek is voor de bepaling van de mate van zelfredzaamheid de mobiliteit, het verstandelijk vermogen, het gehoor en het zicht meegewogen. Beperkt of verminderd zelfredzaam is iemand met een beperking op één aspect, zoals personen met een beperkt zelfstandige mobiliteit, slechtzienden en slechthorenden. In de categorie 'niet zelfredzaam' vallen mensen met een verstandelijke beperking, niet zelfstandig mobiele personen, blinde en dove personen en mensen met meerdere beperkingen, zoals beperkt zelfstandig mobiele en slechtziende personen.

Conclusie 6: Uitsluitend rookmelders in de verkeersruimte ophangen heeft een beperkte effectiviteit als een slachtoffer zich in de brandruimte bevindt. In dat geval kan de rookmelder te laat af gaan om nog te kunnen vluchten.

Aanbeveling 6a: Adviseer in publieksvoorlichting om niet alleen in de verkeersruimten een rookmelder op te hangen, maar ook in de ruimten waar brand kan ontstaan en men tevens slapend kan verblijven.

Aanbeveling 6b: Stel rookmelders niet alleen verplicht in de verkeersruimten, maar ook in de ruimten waar brand kan ontstaan en men tevens slapend kan verblijven.

Conclusie 7: Rookmelders zonder aanvullende maatregelen hebben een beperkte effectiviteit bij mensen die verminderd of niet zelfstandig mobiel zijn. Zij kunnen na tijdige alarmering echter niet altijd snel genoeg vluchten.

Aanbeveling 7a: Richt brandpreventiebeleid bij mensen die niet zelfstandig mobiel zijn in het bijzonder op het beperken van de kans op brand en op het beperken van de effecten van brand. Doe onderzoek naar maatregelen om de zelfredzaamheid te vergroten.

Aanbeveling 7b: Aan mensen die niet zelfstandig kunnen vluchten, wordt geadviseerd in alle potentiële risicoruimten voor brand rookmelders op te hangen die onderling gekoppeld zijn. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen nodig om de kans op brand of de effecten van brand te beperken en om snelle ondersteuning te krijgen om ontvluchting mogelijk te maken. Denk daarbij aan het doorkoppelen van de rookmelder naar een telefoon of ontvanger bij iemand uit de directe omgeving.

Conclusie 8: De geluidsfrequentie (toonhoogte) van de huidige rookmelders is beperkt effectief om zo veel mogelijk (slapende) mensen bij brand te wekken.

Aanbeveling 8: Stel eisen aan de geluidsfrequentie van rookmelders, waarbij een (veel) lagere frequentie (bijvoorbeeld 520 Hz) dan de nu gebruikelijke frequentie (3100 Hz) het uitgangspunt is.

Conclusie 9: Rookmelders in de verkeersruimte hebben een beperkte effectiviteit als de rook zich via de constructie naar de verblijfsruimten kan verspreiden zonder dat de rook in de verkeersruimte komt. In dat geval worden de grenswaarden voor overleefbaarheid in de verblijfsruimte eerder overschreden dan dat de rookmelder in de verkeersruimte af gaat.

Aanbeveling 9: Neem in publieksvoorlichting op, dat er aandacht moet zijn voor het voorkomen van rookverspreiding via de constructie naar bovenliggende ruimten. Mocht dit niet mogelijk zijn, adviseer dan om in ieder geval in de verblijfsruimtes op de verdieping(en) een rookmelder te plaatsen.

Conclusie 10: In niet-bedruimten wordt in de regelgeving een lagere geluidsterkte (volume) voor de hoorbaarheid van rookmelders geëist dan in bedruimten, terwijl het bij woningbranden regelmatig voor is gekomen dat dodelijke slachtoffers in niet-bedruimten slapend aanwezig waren.

Aanbeveling 10: Eis ook voor niet-bedruimten het hogere geluidsterkte (volume) van 75 dB(A), zoals die geldt voor bedruimten.

Conclusie 11: Een (ongekoppelde) rookmelder in de verkeersruimte op een andere verdieping dan waar men zich bevindt, is niet altijd hoorbaar en dan beperkt effectief in het alarmeren van alle aanwezigen in de woning.

Aanbeveling 11: Adviseer bij publieksvoorlichting om bij het gebruik van rookmelders een geluidsproef te houden met de deuren dicht. Dit bij voorkeur met achtergrondgeluid. Via een eenvoudige app is te bepalen of de rookmelder in alle verblijfsruimten hoorbaar is met een geluidsterkte (volume) van meer dan 75 dB(A). Is dit niet zo, dan zijn gekoppelde rookmelders noodzakelijk.

### Onderzoeksvraag 3: Welke aanpassingen of alternatieven zijn geschikt om de effectiviteit van de huidige uitvoering van rookmelders te verbeteren?

Er zijn vier alternatieven op de bestaande regelgeving en adviezen rondom rookmelders onderzocht. Het gaat daarbij om thermische melders in plaats van optische rookmelders, het sluiten van binnendeuren bij ongekoppelde optische rookmelders in de verkeersruimte, het koppelen van optische rookmelders in de verkeersruimte en het plaatsen van gekoppelde optische rookmelders in de verkeersruimte en de brandruimte.

#### Conclusies en aanbevelingen

Conclusie 12: Thermische melders zijn minder effectief in het snel detecteren van brand dan optische rookmelders.

Aanbeveling 12: Blijf adviseren om thermische melders uitsluitend daar te plaatsen waar door hinderlijke activering optische rookmelders geen optie zijn.

Conclusie 13: Het sluiten van binnendeuren kan een positief effect hebben bij een woningbrand op de mogelijkheden voor ontvluchting en redding. Wel dient er aandacht te zijn voor mogelijkheden van rookverspreiding via de constructie en tijdige alarmering van aanwezigen in de brandruimte.

Aanbeveling 13: Neem in publieksvoorlichting op om binnendeuren preventief te sluiten. Adviseer om een rookmelder te plaatsen in de ruimten waarin men slapend verblijft en om naden en kieren in de constructie preventief af te dichten.

Conclusie 14: In een aantal situaties worden de grenswaarden voor ontvluchting en redding in de verkeersruimte eerder bereikt dan in de verblijfsruimte. In dergelijke situaties heeft de aanwezige de grootste kans op overleving door in een verblijfsruimte met weinig rook en gesloten deuren te wachten op redding.

Aanbeveling 14a: Neem in publieksvoorlichting op om ook bij het ontvluchten bij brand binnendeuren te sluiten en om niet door dichte rook te vluchten. Adviseer, als er geen mogelijkheid tot vluchten meer is, om in een rookvrije ruimte te blijven met de binnendeur blijvend gesloten en daar te wachten op redding door de brandweer. Benadruk dat het belangrijk is om aan de brandweer kenbaar te maken waar men zich bevindt.

Aanbeveling 14b: Als er bij brand sprake is van een aanwezige die ingesloten is en de persoon bevindt zich in een ruimte met een overleefbare situatie, voer als brandweer de redding dan uit via een rookvrije route, creëer een rookvrije route of maak gebruik van een vluchtmasker.

Conclusie 15: Het onderling koppelen van rookmelders in de verkeersruimten verhoogt de effectiviteit: het levert een aanzienlijke tijdswinst op in de mogelijkheden om bij brand de woning te ontvluchten.

Aanbeveling 15a: Neem in publieksvoorlichting op om altijd te kiezen voor gekoppelde rookmelders, minstens geplaatst in de verkeersruimten. Kies bij rookmelderacties bij voorkeur voor het uitdelen van koppelbare rookmelders.

Aanbeveling 15b: Neem de koppeling van rookmelders als standaard op in regelgeving.

Conclusie 16: Het plaatsen van gekoppelde rookmelders in de verkeersruimten en in alle ruimten met een kans op het ontstaan van brand, is het meest effectief om bij brand tijdig te kunnen vluchten.

Aanbeveling 16: Hang voor het zo volledig mogelijk afdekken van het brandrisico niet alleen een (gekoppelde) rookmelder op in de verkeersruimten maar ook in ruimten met een kans op het ontstaan van brand.



In aansluiting op de conclusies en aanbevelingen kunnen drie beschermingsniveaus voor rookmelders worden onderscheiden.

- > Niveau 1 bestaat uit optische rookmelders in de hal en de overloop die overal voldoende hoorbaar zijn. Dit is vergelijkbaar met het vereiste niveau voor nieuwbouwwoningen en het minimale niveau uit de adviezen van de brandweer en rookmelderproducenten.
- > Niveau 2 bestaat uit gekoppelde optische rookmelders in de hal en overloop, en alle ruimten waarin je slapend aanwezig kunt zijn.
- > Niveau 3 bestaat uit de plaatsing in overloop, hal en alle potentiële brandruimten. Dit niveau biedt de hoogste bescherming.

Op basis van het onderliggende onderzoek wordt minimaal niveau 2 geadviseerd voor het plaatsen van rookmelders in woningen.

Samengevat is de aanbeveling om het volgende advies over plaatsing van rookmelders op te nemen in voorlichting aan burgers.

- > *Hang rookmelders op die onderling gekoppeld worden.*
- > *Kies voor rookmelders met een batterij met een lange levensduur of kies voor rookmelders op het lichtnet.*
- > *Hang de rookmelders niet alleen op in de hal en overloop, maar ook in de ruimten waarin weleens slapend verbleven wordt. Voor nog meer veiligheid: hang rookmelders in alle ruimten waarin brand verwacht kan worden (ruimte wasdroger, keuken, woonkamer).*
- > *Kies voor optische rookmelders, tenzij in bepaalde ruimten de rookmelder door stoom of stof telkens een loos alarm geeft. Plaats in dat geval een thermische melder.*
- > *Sluit altijd alle binnendeuren voor het slapengaan, en overdag ook in ruimten waar personen zich bevinden die niet zelfstandig kunnen vluchten.*
- > *Vlucht bij brand niet door dichte rook. Blijf in dat geval in de ruimte zonder rook met de binnendeur blijvend gesloten en maak aan de brandweer kenbaar waar je bent.*
- > *Aan mensen die niet zelfstandig kunnen vluchten bij brand is het advies om maatregelen te nemen die de kans op brand, en de effecten ervan, beperken. Maak met de directe omgeving afspraken hoe ze kunnen helpen met vluchten bij een eventuele brand.*

Samengevat is aan te bevelen de volgende punten op te nemen in beleid over rookmelders.

- > *Verhoog het percentage woningen met een werkende rookmelder. Stel daarom rookmelders verplicht in alle woningen, ongeacht het bouwjaar.*
- > *Stel eisen aan de geluidsfrequentie van rookmelders, waarbij een (veel) lagere frequentie (bijvoorbeeld 520 Hz) dan de nu gebruikelijke frequentie (3100 Hz) het uitgangspunt is.*
- > *Maak voor de geluidsterkte geen onderscheid tussen bedruimten en niet-bedruimten, maar stel voor alle ruimten een eis van ten minste 75 dB(A).*
- > *Neem de onderlinge koppeling van rookmelders op als standaard in de regelgeving.*
- > *Ga voor de locatie van de rookmelder uit van plaatsing in ten minste de verkeersruimte(n) en bij voorkeur in alle ruimten waarin men slapend kan verblijven. De plaatsing in alle potentiële brandruimten biedt de beste bescherming.*



# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Managementsamenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inhoud</b>	<b>11</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1 Achtergrond	13
1.2 Onderzoeksvragen	14
1.3 Afbakening	14
<b>2 Methoden van onderzoek</b>	<b>17</b>
2.1 Literatuuronderzoek	17
2.2 Databaseonderzoek	17
2.3 Incidentonderzoek	19
2.4 Praktijkonderzoek	20
<b>3 Literatuuroverzicht</b>	<b>31</b>
3.1 Aanwezigheid en locatie van rookmelders	31
3.2 Detectie	38
3.3 Alarmering	46
3.4 Vluchten en overleefbaarheid	49
<b>4 Case studies/databases</b>	<b>54</b>
4.1 Aanwezigheid van rookmelders	54
4.2 Detectie, alarmering en ontvluchting	60
4.3 Nader onderzoek naar cases waarin een rookmelder niet effectief was	73
<b>5 Resultaten praktijkonderzoek</b>	<b>80</b>
5.1 Inleiding	80
5.2 Hoorbaarheid van rookmelders	80
5.3 Analyse brandtesten	87
<b>6 Belangrijkste bevindingen</b>	<b>107</b>
6.1 Brandkenmerken	107
6.2 Gebouwkenmerken	108
6.3 Menskenmerken	110
6.4 Rookmelderkenmerken	112
<b>7 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>114</b>
<b>8 Discussie</b>	<b>123</b>
<b>9 Literatuur</b>	<b>125</b>



<b>Bijlage 1: Plattegronden woningen, inrichting en meetapparatuur</b>	<b>129</b>
<b>Bijlage 2: Bepaling grenswaarden</b>	<b>135</b>
<b>Bijlage 3: Meetwaarden brandtesten</b>	<b>141</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Sinds 2003 bestaat voor nieuwbouwwoningen<sup>5</sup> de verplichting om rookmelders in woningen aan te brengen. Verder zijn diverse campagnes gevoerd om de aanwezigheid van functionerende rookmelders in woningen te stimuleren. Maar rookmelders blijken niet in alle omstandigheden effectief te zijn. Enkele voorbeelden:

*In maart 2012 ontstaat brand in een woonzorggebouw doordat een bewoner in de badkamer rookt. Het pand is voorzien van een gecertificeerde en naar de brandweer doorgemelde brandmeldinstallatie met volledige detectie, behalve in de badkamers. Het personeel hoort geluid uit de badkamer komen en ontdekt na het openen van de deur dat de bewoner in brand is geraakt. Pas dan wordt ook de brandmelder geactiveerd. De bewoner overleeft de brand niet.*

*In mei 2013 breekt brand uit in een woning waarin negen rookmelders aanwezig zijn, maar geen van de melders slaat alarm. De bewoners ontdekken de brand doordat de stroom uitvalt. Als ze in de meterkast poolhoogte nemen komt er een grote hoeveelheid rook uit de schacht van de meterkast. De brandhaard blijkt zich tussen de plafonds en de vloeren te bevinden.*

Uit onderzoek (Groenewegen, Kobes, Mertens & Van Rossum, 2013) komt naar voren dat in Nederland tussen 2008 en 2012 één op de vijf woningen waarin brand met fatale afloop heeft plaatsvonden<sup>6</sup> ten minste één rookmelder aanwezig was. Toch kon één of meerdere bewoner(s) niet vluchten en is bij de brand omgekomen. Bij 27% van deze gevallen was er een defect aan de rookmelder, maar in 73% van de gevallen is de rookmelder daadwerkelijk afgegaan. In 82% van de fatale woningbranden waarbij de rookmelder afging was de bewoner beperkt of niet zelfredzaam<sup>7</sup>.

In een onderzoek (Linssen, 2011) naar de overlevingstijd bij woningbranden is berekend dat de huidige projectering van rookmelders (in vluchtroute), zoals voorgesteld in de regelgeving, niet doeltreffend is. De meeste branden ontstaan in verblijfsruimten, waardoor het enige tijd duurt voordat de rook in de buurt van de rookmelder in de verkeersruimte is. Daarnaast wordt in het onderzoek genoemd dat de vergrijzing van de Nederlandse bevolking toeneemt en ouderen langer zelfstandig blijven wonen. Dit zorgt onder andere voor een toenevend aantal niet-zelfredzame personen in standaardwoningen.

De voorbeelden laten zien dat er beperkingen zitten aan het functioneren van rookmelders. In deze voorbeelden had de beperking te maken met de locatie van de rookmelder en de brandhaard (zie voorbeelden 1, 2 en het onderzoek van Linssen, 2011), met onderhoud of

<sup>5</sup> En wanneer sprake is van een functiewijziging naar een woonfunctie.

<sup>6</sup> Bij 30 van 148 fatale woningbranden.

<sup>7</sup> Voor 'zelfredzaamheid' is de volgende definitie gehanteerd: zelfredzaamheid (bij brand) is het menselijk vermogen om signalen van gevaar waar te nemen en uit te voeren die gericht zijn op het overleven van een brandsituatie (Kobes, 2008). In dit onderzoek is voor de bepaling van de mate van zelfredzaamheid de mobiliteit, het verstandelijk vermogen, het gehoor en het zicht meegewogen. Beperkt of verminderd zelfredzaam is iemand met een beperking op één aspect, zoals personen met een beperkt zelfstandige mobiliteit, slechtzienden en slechthorenden. In de categorie 'niet zelfredzaam' vallen mensen met een verstandelijke beperking, niet zelfstandig mobiele personen, blinde en dove personen en mensen met meerdere beperkingen, zoals beperkt zelfstandig mobiele en slechtziende personen.

obstructie, zoals het niet tijdig vervangen of uitnemen van de batterij (Groenewegen e.a., 2013), en met de mate van zelfredzaamheid van de bewoners (Linssen, 2011; Groenewegen e.a., 2013). Ook is het denkbaar dat er andere situaties zijn waarin een rookmelder niet goed functioneert. Dit is de aanleiding geweest om onderzoek te verrichten naar de factoren die van invloed kunnen zijn op de effectiviteit van rookmelders in woningen.

## 1.2 Onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de effectiviteit van rookmelders en in het bijzonder in de omstandigheden waarin rookmelders niet effectief zijn. Met de *effectiviteit van rookmelders* wordt bedoeld op een snelle detectie van brand en een snelle alarmering van de (slapende) aanwezigen, waardoor de bewoners tijdig kunnen vluchten. De snelheid is lastig te kwantificeren: het is enerzijds afhankelijk van de snelheid waarin de omgevingsconditie in de vluchtroute door rook en hitte verslechtert, en anderzijds van de tijd die de aanwezigen nodig hebben om te reageren, door naar een veilige plaats te vluchten.

Er is onderzocht welke aanpassingen of alternatieven geschikt zijn om de effectiviteit van rookmelders te verbeteren. Deze inzichten kunnen verwerkt worden in de content voor lessen leerstof van de Brandweeracademie en in de voorlichtingsadviezen van Brandweer Nederland.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

*Wat zijn de beperkingen aan de effectiviteit van rookmelders bij woningbranden en welke aanpassingen of alternatieven zijn geschikt om de effectiviteit van de huidige uitvoering van rookmelders in woningen te verbeteren?*

De deelvragen van dit onderzoek zijn:

1. Hoe is het anno 2015 gesteld met de aanwezigheid, de projectering en het functioneren<sup>8</sup> van rookmelders in woningen?
2. Wat is de effectiviteit van rookmelders, uitgegaan van de huidige regelgeving (Bouwbesluit) en adviezen van de brandweer, en welke brandkenmerken, gebouwkenmerken, menskenmerken en rookmelderkenmerken spelen hierbij een rol?
3. Welke aanpassingen of alternatieven zijn geschikt om de effectiviteit van de huidige uitvoering van rookmelders te verbeteren?

## 1.3 Afbakening

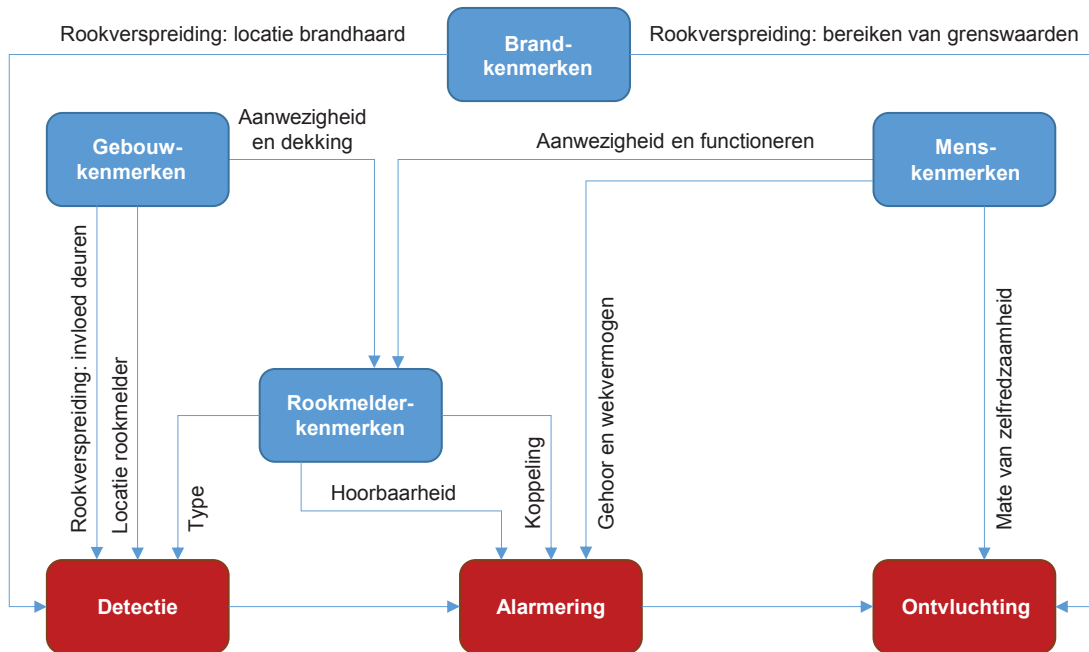
Het onderzoek richt zich vooral op de effectiviteit van rookmelders in een woonomgeving waar mensen zelfstandig wonen. Zijdelings wordt wel ingegaan op rookmelders in studenthuisvesting en woonzorggebouwen, maar de focus ligt op woningen.

In het onderzoek wordt aangesloten bij de methode van kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen, zoals die is ontwikkeld in het kader van een onderzoek naar zelfred-

---

<sup>8</sup> Onder functioneren wordt verstaan dat de rookmelders werken, op de juiste plaats hangen om brand snel te detecteren en het geluid van het alarmsignaal zodanig is dat de (slapende) aanwezigen in de woning gealarmeerd worden.

zaamheid bij brand (Kobes, 2008). Daarin is allereerst een driedeling van factoren te onderscheiden, namelijk de gevaarsfactor (brandkenmerken), de omgevingsfactor (gebouwkenmerken) en de menselijke factor (mensenkenmerken). Vanwege dit onderzoek is hieraan een vierde factor toegevoegd, namelijk de rookmelderkenmerken. Verder is een splitsing gemaakt in fasering van het brandverloop, namelijk de fase van ontdekking (detectie), alarmering en ontvluchting. In figuur 1 zijn deze onderwerpen schematisch weergegeven.



Figuur 1: Onderwerpen van onderzoek

### 1.3.1 Brandkenmerken

In het praktijkonderzoek (zie paragraaf 2.4) komt de invloed van de brandkenmerken uitgebreid aan de orde. Allereerst heeft de locatie van de brandhaard invloed op de mogelijkheid en snelheid van detectie van de brand door de rookmelder. Verder hebben de brandkenmerken invloed op de mogelijkheid voor ontvluchting (en redding als vluchten niet meer mogelijk is). In het literatuuroverzicht wordt in paragraaf 3.4 ingegaan op de grenswaarden voor ontvluchting (en overleefbaarheid). In paragraaf 5.3 zijn de resultaten weergegeven van het praktijkonderzoek, waarin onder andere de invloed van de locatie van de brandhaard op de mogelijkheid en snelheid van detectie van de brand door de rookmelder en van het bereiken van de grenswaarden zijn geanalyseerd.

### 1.3.2 Gebouwkenmerken

De gebouwkenmerken, zoals gebouwtype (woning of anders) en bouwjaar (2003 of ouder), hebben een relatie met de aanwezigheid van en dekking door rookmelders. De aanwezigheid en dekking volgt uit (landelijke) regelgeving en uit adviezen van Brandweer Nederland en rookmelderproducenten. In paragraaf 3.1 wordt onder andere ingegaan op de factoren die een rol spelen bij de aanwezigheid en dekking van rookmelders, zoals die uit de literatuur naar voren zijn gekomen. Verder komt dit aan de orde in paragraaf 4.1, waarin een uitgebreide analyse is gegeven van data uit de database van het Woononderzoek 2012. In paragraaf 3.2 wordt op basis van literatuuronderzoek onder andere ingegaan op de locatie van rookmelders. Verder is de invloed van de locatie van rookmelders op de mogelijkheid en snelheid van detectie van brand in een praktijkonderzoek onderzocht. Daarin is ook de invloed onderzocht van het al of niet sluiten van deuren op de rookverspreiding en de mogelijkheid en snelheid van detectie van brand door rookmelders. De resultaten zijn terug te vinden in paragraaf 5.3.3.



### 1.3.3 Menskenmerken

De aanwezigheid en het functioneren van rookmelders zijn het gevolg van het al dan niet op de juiste wijze opvolgen van de eisen en adviezen op gebied van rookmelders. Dit wordt beïnvloed door menskenmerken, waardoor de ene groep huishoudens wel voldoende en functionerende rookmelders in huis heeft en de andere groep niet. Dit komt aan de orde in paragraaf 3.1 in het literatuuroverzicht en in paragraaf 4.1, waarin een uitgebreide analyse van het Woononderzoek 2012 is opgenomen.

Het gehoor van mensen en het wekvermogen van rookmelders heeft invloed op de mogelijkheid en snelheid van alarmering. Dit komt aan de orde in paragraaf 3.3 in het literatuuroverzicht.

Nadat mensen gealarmeerd zijn door het signaal van de rookmelder moet, om uiteindelijk de brand te kunnen overleven, nog wel een vluchtactie uitgevoerd worden. De mate van zelfredzaamheid van mensen, en dan met name de mate van mobiliteit, heeft invloed op de mogelijkheid van ontvluchting. De invloed van de menskenmerken op de ontvluchting komt met name aan de orde in de bespreking van de analyse van verschillende databases (zie paragrafen 4.2 en 4.3) en in de analyse van de beschikbare vlucht- en redtijden zoals bepaald vanuit het praktijkonderzoek (zie paragraaf 5.3).

### 1.3.4 Rookmelderkenmerken

De rookmelderkenmerken die in het onderzoek zijn meegenomen zijn het type melder, de hoorbaarheid en het effect van het al of niet onderling gekoppeld zijn van de (rook)melders op de snelheid van alarmering.

De invloed van het type rookmelder op de mogelijkheid en snelheid van detectie wordt in paragraaf 3.2.1 vanuit de literatuur besproken, in paragraaf 4.2 vanuit (recent) incidentonderzoek en in paragraaf 5.3 vanuit het praktijkonderzoek.

Het al dan niet sluiten van deuren heeft niet alleen effect op de rookverspreiding, maar ook op de hoorbaarheid van het alarmsignaal, en daarmee op de alarmering. In een geluidstest is dit in de praktijk onderzocht. De resultaten zijn opgenomen in paragraaf 5.2.

Tot slot is de invloed van het onderling koppelen van rookmelders in de praktijk met brandtesten onderzocht. De resultaten zijn opgetekend in paragraaf 5.3.

# 2 Methoden van onderzoek

In dit hoofdstuk worden de diverse onderzoeksmethoden kort toegelicht. In dit rapport is gebruikgemaakt van literatuuronderzoek, databaseonderzoek, incidentonderzoek en praktijkexperimenten.

## 2.1 Literatuuronderzoek

Voor het literatuuronderzoek is onder andere via Internet een groot aantal documenten verzameld over de effectiviteit van rookmelders. Er is vooral gezocht naar bestaande (inter)nationale literatuur over eerder uitgevoerd praktijkonderzoek naar de effectiviteit van rookmelders. In Engelstalige literatuur is vooral gezocht naar (wetenschappelijke) informatie over hinderlijke activering, de effectiviteit<sup>9</sup> van (beleids)interventies op het gebied van rookmelders, eerder uitgevoerde brandtesten met rookmelders en naar praktijkonderzoek over het ontwaken in geval van brand. In Nederlandstalige literatuur is vooral gezocht naar evaluaties van (lokale) rookmeldercampagnes. Verder is in Nederlandse zoektermen gezocht naar andere bronnen met informatie over rookmelders, zoals de database van het WoonOnderzoek Nederland (WoON) dat in 2012 is uitgevoerd.

## 2.2 Databaseonderzoek

### 2.2.1 WoON 2012

Het directoraat generaal Wonen en Bouwen van het Ministerie van Binnenlandse Zaken voert elke drie jaar in samenwerking met het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) het WoonOnderzoek Nederland (WoON) uit. De WoON-database bevat gegevens over onder andere huishoudens, de huidige en gewenste woonsituatie en de tevredenheid met de woonsituatie. Daarnaast omvat het WoON ook thema's die raken aan het wonen, zoals gegevens over brandveiligheid.

In totaal zijn voor het WoON 2012 bijna 70.000 personen van 18 jaar en ouder in Nederland geïnterviewd. De steekproef vormt een dwarsdoorsnede van de bevolking. Om de gegevens van de onderzoekspopulatie te vertalen naar het totaal aantal huishoudens binnen het onderzoeksgebied (regio, gemeente, wijk), is de steekproef opgehoogd met een ophoogfactor. Deze ophoogfactor is bepaald aan de hand van het werkelijk aantal personen en huishoudens in Nederland en de betreffende gemeente. De peildatum van alle gegevens is 1 januari 2012. In totaal hebben 60211 respondenten de vragen over rookmelders beantwoord.

De meest recente database van het WoonOnderzoek Nederland (WoON 2012) is geanalyseerd voor de vragen die betrekking hebben op rookmelders.

---

<sup>9</sup> Hier wordt onder effectief wordt verstaan dat er een toename is in het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats.

## 2.2.2 Fatale woningbranden 2008-2013

Het IFV verzamelt sinds 2008 structureel data over fatale woningbranden in Nederland. Daarbij wordt samengewerkt met het Nederlands Brandweer Documentatie Centrum (NBDC), Brandweer Nederland en de bij de betreffende branden betrokken brandweerkorpsen en teams brandonderzoek, die aan de hand van een vragenlijst van het IFV de gegevens leveren over de fatale woningbranden.

Een fatale woningbrand is een brand waarbij dodelijke slachtoffers als gevolg van brand zijn te betreuren, die heeft plaatsgevonden in een gebouw met een woonfunctie of in een ander 'woongerelateerd' object<sup>10</sup> en niet door opzet is veroorzaakt<sup>11</sup>.

Het onderzoek *Fatale woningbranden* heeft een aantal beperkingen, waar rekening mee gehouden moet worden bij de interpretatie van de resultaten. Deze beperkingen betreffen:

### 1. Registratie van fatale woningbranden

In Nederland worden fatale woningbranden niet in een direct en openbaar toegankelijke centrale databank geregistreerd. Het NBDC registreert de fatale woningbranden voor het IFV op basis van nieuwsberichten. Naar schatting wordt hiermee meer dan 95% van de fatale woningbranden in Nederland geregistreerd (Kobes, 2009).<sup>12</sup>

### 2. Tijdige verzameling van gegevens

Over een deel van de fatale woningbranden die in de afgelopen jaren zijn onderzocht, zijn de gegevens relatief laat na het plaatsvinden van die branden verzameld. Bij voorkeur worden de gegevens over een fatale woningbrand zo kort mogelijk na de brand verzameld. Hoe langer de tijd is tussen het plaatsvinden van de fatale woningbrand en het invullen van de vragenlijst, des te lastiger het immers voor de respondent is de gevraagde gegevens te leveren. Dit ondanks het feit dat de respondenten maar weinig fatale woningbranden meemaken en deze niet snel vergeten.

### 3. Wijze van data verzamelen

De resultaten van het onderzoek zijn gebaseerd op de gegevens die de respondenten door middel van de vragenlijst leveren. Bij ontbreken van of onduidelijkheid over de gegevens doet het IFV navraag bij de respondenten, maar het IFV verricht geen nader eigen onderzoek naar de fatale woningbranden. De respondenten zijn brandweerfunctionarissen die, met uitzondering van de sinds 2010 bij het onderzoek betrokken brandonderzoekers, geen onderzoekstaak hebben. Daarnaast heeft de brandweer niet in alle gevallen de beschikking over de gevraagde gegevens.

Ten tijde van het onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders zijn de data over de fatale woningbranden in 2008 tot en met 2013 beschikbaar voor analyse. In aanvulling op de eerdere analyses die al zijn uitgevoerd en gepubliceerd, zijn de data opnieuw geanalyseerd op de kritische factoren die gerelateerd zijn aan de effectiviteit van rookmelders. De data-analyse betreft daarmee een nieuw onderzoek, de resultaten zijn niet eerder in deze vorm gepubliceerd.

---

<sup>10</sup> Als criterium voor 'woonfunctie' of 'woongerelateerd' geldt dat er sprake moet zijn van min of meer permanente bewoning en van bekendheid van het slachtoffer met de omgeving. Fatale woningbranden in verzorgingstehuizen zijn zodoende meegenomen in het onderzoek, maar branden in (bijvoorbeeld) ziekenhuizen niet. Fatale woningbranden in stacaravans en schuren (mits behorend bij een woning) zijn ook in het onderzoek meegenomen.

<sup>11</sup> Dit zijn de woningbranden met fatale afloop waarvoor vaststaat dat geen sprake was van brandstichting, moord of zelfmoord. Onder 'brandstichting' wordt hier moedwillige brandstichting door toerekeningsvatbare volwassenen verstaan; uitgesloten zijn, bijvoorbeeld, branden die door spelende kinderen of verwarde volwassenen zijn veroorzaakt. Met opzet veroorzaakte woningbranden met fatale afloop zijn van het onderzoek uitgesloten.

<sup>12</sup> In dit rapport is een paragraaf gewijd aan de wijze van registratie en verzamelen van de gegevens over fatale woningbranden, en de verschillen daarin tussen (N)IFV en CBS.

### 2.2.3 TBO database 2010-2014

De Teams Brandonderzoek (TBO) van diverse Veiligheidsregio's doen sinds 2009 onderzoek naar oorzaken en brandverloop bij branden in Nederland. De branden zijn geselecteerd op basis van het mogelijke leeraspect. De gegevens worden opgeslagen in een geautomatiseerde database.

De database wordt beheerd door Brandweer Nederland en het IFV heeft via Brandweer Nederland inzage in de database. Opgemerkt moet worden dat de branden in de database grotendeels (91%) afkomstig zijn uit vier Veiligheidsregio's (de Veiligheidsregio's Amsterdam-Amstelland, Rotterdam-Rijnmond, Noord- en Oost-Gelderland en Twente). Gezamenlijk vormen zij waarschijnlijk een goede afspiegeling van de situatie in Nederland aangezien deze regio's zowel stedelijke als landelijke gebieden omvatten. Op basis van de huidige gegevens kan dit echter niet met zekerheid worden vastgesteld. Verder zijn de branden in de database in aantal niet volledig en niet aselekt gekozen. De steekproef, bestaande uit 1718 woningbranden in de periode van 2010 tot en met 2014, hoeft daarmee niet per se representatief te zijn voor de situatie in Nederland.

Uit de database is informatie gedestilleerd over woningbranden in de jaren 2010 tot en met 2014 waar informatie bekend is over de aanwezigheid van rookmelders. In totaal is van 1398 woningbranden bekend of er wel of geen rookmelders aanwezig waren. Alleen deze woningbranden zijn geanalyseerd. De data-analyse betreft daarmee wederom een nieuw onderzoek, de resultaten zijn niet eerder in deze vorm gepubliceerd<sup>13</sup>.

## 2.3 Incidentonderzoek

De brandonderzoekers van de veiligheidsregio's zijn voor het onderzoek naar rookmelders gevraagd om naast de bestaande vragenlijsten van de TBO database en het project Fatale Woningbranden, bij woningbranden in hun gebied aanvullende vragen te beantwoorden. Hiervoor is een online vragenlijst ontwikkeld. De Veiligheidsregio's Drenthe en Noord-Oost-Gelderland zijn bereid gevonden om gedurende de periode van 1 juli tot en met 31 december 2014 de vragenlijst in te vullen.

De data die zijn verzameld hebben betrekking op brandkenmerken, gebouwkenmerken, mensenkenmerken en rookmelderkenmerken. Bij brandkenmerken valt te denken aan de oorzaak van de brand, de verdieping en ruimte waarin de brand is ontstaan, de mate van rookverspreiding en brandontwikkeling bij het ontdekken van de brand en het moment waarop de brand is gemeld bij de alarmcentrale van de brandweer. De gebouwkenmerken waarover informatie is gevraagd zijn het aantal bouwlagen van de woning en de locaties waar (indien van toepassing) rookmelders geplaatst zijn. In relatie tot de mensenkenmerken is onder andere informatie gevraagd over eventuele beperkingen in mobiliteit, zicht, gehoor en besef, of mensen wakker waren of sliepen toen de brand ontstond, in welke ruimte zij op dat moment aanwezig waren, de eerste reactie na het ontdekken van de brand en of er slachtoffers zijn gevallen. In relatie tot de rookmelderkenmerken zijn gegevens gevraagd zoals de werking van de rookmelder tijdens de brand, de type voeding, of de aanwezige(n) de brand heeft/hebben ontdekt doordat de rookmelder(s) is/zijn afgegaan (of op andere wijze de brand hebben ontdekt) en indien van toepassing de reden waarom een/de rookmelder(s) niet heeft of hebben gefunctioneerd.

In totaal zijn gegevens over 52 woningbranden ingevoerd, namelijk over 26 woningbranden in Drenthe en 26 in Noord-Oost-Gelderland.

<sup>13</sup> Een eerdere analyse is gepubliceerd als Kobes, M., *Analyse database brandonderzoek TBO 2010-2012*. Arnhem: Brandweer Nederland en IFV, 2014.



## 2.4 Praktijkonderzoek

In deze paragraaf wordt de opzet van het praktijkonderzoek beschreven. Dit onderzoek is gecombineerd met ander onderzoek naar brandverloop, waarover separaat gerapporteerd is.<sup>14</sup> De onderzoeksopzet hieronder beschreven, is deels op basis van de beschrijvingen van Hazebroek e.a. (2015), en deels voorzien van aanvullende informatie.

### 2.4.1 Algemene opzet

In het praktijkonderzoek is de effectiviteit van rookmelders op verschillende locaties onderzocht, waaronder de locaties volgens de geldende regelgeving en adviezen. Het onderzoek is uitgevoerd in sloopwoningen in een woonwijk in Zutphen. De woningen zijn voorzien van een realistische woninginrichting, optische rookmelders en thermische melders in vrijwel alle ruimten, meetapparatuur en camera's. Er zijn zes verschillende realistische brandscenario's onderzocht, waarbij de brand is ontstaan in verschillende ruimten en voorwerpen. Ook is er gevarieerd met het open of gesloten houden van de binnendeuren. Uitgangspunt is dat de woning wordt bewoond door een gezin bestaande uit een jong echtpaar met een baby.

### 2.4.2 De woningen

De brandtesten zijn uitgevoerd in arbeiderswoningen (zie afbeelding 1 en 2) die gebouwd zijn in 1931 aan De Marsweg in Zutphen. De woningen zijn tot voor kort bewoond geweest. Alle woningen zijn gebouwd volgens dezelfde indeling, waarbij de plattegrond soms gespiegeld is. Daardoor zijn de verschillen tussen de woningen minimaal. Iedere woning is voorzien van houten vloeren en een trap. In de loop der tijd zijn de woningen (iets) gerenoveerd. Er is onder andere dubbel glas geplaatst op de begane grond, er zijn op de begane grond ventilatieroosters aanwezig en de plafonds zijn afgewerkt met gipsplaten. Dit heeft tot gevolg dat de isolatiewaarde is verhoogd en de kans op doorslag van brand naar de bovenverdieping beperkt is. De binnen- en buitendeuren zijn sluitend, maar met een aantal kierren. De binnendeuren zijn stomp en afhankelijk van de woning van massief hout of board. Verder zijn de woningen voorzien van een pannendak en opgebouwd uit traditioneel metselwerk. De voorgevels van alle woningen bevinden zich aan de westzijde. Om hoekwoningen te kunnen vergelijken met de tussenwoningen, zijn de zijramen van de hoekwoningen bekleed met Promat<sup>15</sup> om zodoende een dichte muur te creëren.



Afbeelding 1 en 2: Voor- en achterkant woning aan De Marsweg

<sup>14</sup> Hazebroek, J.C., Greven, F.E., Groenewegen, K. & Dikkenberg, R. Van (2015). *Het kan verkeren, beschrijvend onderzoek naar brandontwikkeling en overleefbaarheid*. Arnhem: IFV.

<sup>15</sup> Promatect-H 15 mm, brandwerend materiaal.

Voor de veiligheid zijn er twee fognails<sup>16</sup> aangebracht in het dak en zijn de pannen op de scheiding verwijderd (afbeelding 3). Op deze wijze kan bij het uit de hand lopen van de brand actie worden ondernomen door de veiligheidsploeg.



Afbeelding 3: Veiligheidsmaatregelen

De woningen beschikken over een begane grond, eerste verdieping en bergzolder. Alle woningen zijn voorzien van een kelder, die toegankelijk is vanuit de hal (via een ingang onder de trap). Voorts hebben de woningen een kruipruimte. In enkele gevallen is deze kruipruimte uitgegraven tot stahoogte. De toegang hiervan bevindt zich in de woonkamer in de vorm van een vloerluik.

De begane grond van de woningen bestaat uit een hal, toilet, woonkamer, keuken en een badkamer die vanuit de keuken bereikbaar is. In het onderzoek is uitgegaan van een open verbinding tussen keuken en woonkamer. De deur tussen de woonkamer en de keuken is dus in alle brandproeven open gebleven.

De eerste verdieping is onderverdeeld in drie ruimten: twee slaapkamers en een overloop. In het plafond van de overloop bevindt zich het luik naar de zolder. Hiervoor is geen trap of iets dergelijks aanwezig. Vrijwel alle slaapkamers zijn voorzien van een dakkapel die doorloopt naar de naastgelegen (geschakelde) woning<sup>17</sup>. In enkele slaapkamers is een muurkast getimmerd. Om dezelfde startsituatie te verkrijgen zijn deze getimmerde kasten gesloopt.

De zolder betreft een gesloten vliering. De kapconstructie bestaat uit hout.

De ramen op de begane grond zijn voorzien van dubbel glas met uitzondering van enkele kleine ruiten. Er zijn ventilatieroosters aanwezig. De ramen op de eerste verdieping zijn voorzien van enkel glas, met uitzondering van het dakraam op de overloop.

De vloer van de begane grond en de eerste verdieping bestaat uit een balklaag met houten vloerdelen. Om in alle woningen dezelfde startsituatie te verkrijgen qua vuurlast, is alle aanwezige laminaat en tapijt verwijderd. De plafonds zijn in alle ruimten voorzien van gips.

Een gedetailleerde plattegrond inclusief maten van de beide bouwlagen is opgenomen in bijlage 1.

<sup>16</sup> Fognails zijn lansen, aangesloten op het lage druksysteem van een tankautospuit. De lansen zijn voorzien van een punt, met daarachter een ring met kleine openingen. Uit deze opening komt fijn verdeeld water. Fognails worden ingezet door handmatig van buitenaf openingen in de wand of het dak te creëren. Vervolgens worden de fognails geplaatst. Eenmaal geplaatst kunnen zij zelfstandig functioneren.

<sup>17</sup> De babykamer (in plattegrond bijlage 1 ruimte 2.2) van scenario 6 had in plaats van een dakkapel een dakraam.



### 2.4.3 De woninginrichting

Om de realiteit zoveel mogelijk te benaderen is de inrichting van de woningen een afspiegeling van meubels zoals die in Nederland anno 2014 gebruikelijk zijn. Daartoe zijn de meubels aangeschaft bij drie meubelgiganten. Daarbij is gefocust op het prijspectrum 'goedkoop' met de financiële situatie van een jong gezin in het achterhoofd. De woning is zo realistisch mogelijk ingericht, met naast stoelen, tafels, banken, televisies ook bijvoorbeeld kleding in de kasten, elektrische apparatuur in de keuken, boeken en tijdschriften in de woonkamer en kinderspeelgoed in de babykamer. In afbeelding 4 tot en met 9 is een impressie gegeven van de inrichting van de woningen. Een plattegrond met de gedetailleerde inrichting is tevens opgenomen in bijlage 1.



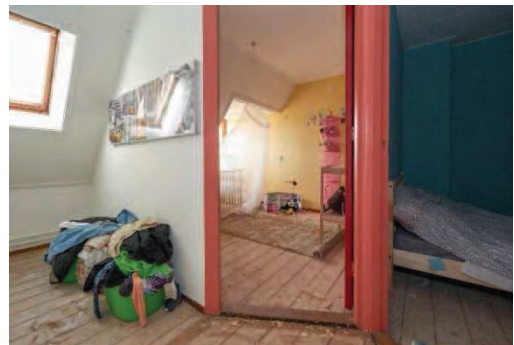
Afbeelding 4: Inrichting woonkamer



Afbeelding 5: Inrichting keuken



Afbeelding 6: Inrichting overloop



Afbeelding 7: Inrichting overloop



Afbeelding 8: Inrichting babykamer



Afbeelding 9: Inrichting ouderslaapkamer

### 2.4.4 De brandscenario's

De branden werden telkens ontstoken door middel van een waxinelichtje. In tabel 1 zijn de zes scenario's beschreven.

Tabel 1: Opzet zes brandproeven

Brand	Locatie ontstaan	Object ontstaan	Deur hal	Deur slaapkamers	Ventilatie
1	Slaapkamer	Bed	Dicht	Beide dicht	Alles dicht, enkel slaapkamer- merraam op kier
2	Keuken	Friteuse	Dicht	1 open/ 1 dicht	Alles dicht, keukendeur half open
3	Woonkamer	Bank	Open	1 open/ 1 dicht	Alles dicht, enkel slaapkamer- merraam op kier
4	Woonkamer	Bank	Dicht	1 open/ 1 dicht	Alles dicht, enkel slaapkamer- merraam op kier
5	Woonkamer	TV	Open	1 open/ 1 dicht	Voordeur open
6	Slaapkamer	Bed	Dicht	Beide open	Buitendeuren dicht, beide slaapkamerramen op kier

Hieronder volgt een korte beschrijving van de scenario's van de brandproeven.

*Brand 1: slaapkamerbrand in de ouderslaapkamer met deuren dicht*

De ouders slapen in de slaapkamer aan de voorzijde, de baby slaapt in de slaapkamer aan de achterzijde. De beide slaapkamerdeuren zijn gesloten. Het raam op de ouderslaapkamer staat op een kier. Er breekt in de nachtelijke uren, terwijl iedereen slaapt, brand uit als gevolg van een defect bij de elektrische deken in de ouderslaapkamer.

*Brand 2: Keukenbrand*

Het is aan het einde van de middag en de vader is beneden aanwezig. De baby slaapt in de babykamer aan de achterzijde en de moeder in de ouderslaapkamer aan de voorzijde. De deur van de babykamer is gesloten. In de keuken staat de friteuse aan, zonder dat er toezicht op wordt gehouden. De friteuse raakt in brand. Een bluspoging door het afdekken van de friteuse met een deksel mislukt en de vader vlucht via de keukendeur naar buiten. De keukendeur blijft half open staan. De deur naar de hal is gesloten, evenals de deur van de babykamer. De deur van de ouderslaapkamer is open.

*Brand 3: Woonkamerbrand met woonkamerdeur open*

De ouders slapen in de slaapkamer aan de voorzijde, de baby slaapt in de slaapkamer aan de achterzijde. De deur van de ouderslaapkamer staat open, de deur van de babykamer is gesloten. Er breekt in de nachtelijke uren, terwijl iedereen slaapt, brand uit in de bank in de woonkamer. De deur tussen de woonkamer en de hal staat open.

*Brand 4: Woonkamerbrand met woonkamerdeur dicht*

De ouders slapen in de slaapkamer aan de voorzijde, de baby slaapt in de slaapkamer aan de achterzijde. De deur van de ouderslaapkamer staat open, de deur van de babykamer is gesloten. Er breekt in de nachtelijke uren, terwijl iedereen slaapt, brand uit in de woonkamer in de bank. De deur tussen de woonkamer en de hal is gesloten. Alle buitendeuren en ramen zijn gesloten, alleen het raam van de ouderslaapkamer staat op een kier.

*Brand 5: Televisiebrand in woonkamer*

Het gezin doet een middagdutje. Vader slaapt op de bank in de woonkamer, moeder op de ouderslaapkamer aan de voorzijde en de baby op de babykamer aan de achterzijde. De deur van de ouderslaapkamer staat open; de deur van de babykamer is gesloten. Het raam van de ouderslaapkamer staat op een kier. Er breekt brand uit in de TV in de woonkamer.



De vader ziet nog net kans om via de voordeur de woning te verlaten en belt de brandweer. De deur tussen de woonkamer en de hal en de voordeur blijven open staan. Moeder en baby zijn nog boven in de woning aanwezig. Het is dan 2,5 minuut na het ontstaan van de brand.

#### *Brand 6: Slaapkamerbrand in de ouderslaapkamer met deur open*

De ouders slapen in de slaapkamer aan de voorzijde, de baby slaapt in de slaapkamer aan de achterzijde. De beide slaapkamerdeuren zijn geopend. Beide ramen op de ouderslaapkamer staan op een kier, evenals het raam op de babykamer. Er breekt in de nachtelijke uren, terwijl iedereen slaapt, brand uit als gevolg van een defect bij de elektrische deken in de ouderslaapkamer. Alle buitendeuren, evenals de deur tussen de woonkamer en de hal, zijn gesloten. Het verschil tussen dit scenario en het scenario van test 1 betreft het geopend zijn van de deuren en ramen van de ouderslaapkamer en van de babyslaapkamer.



Afbeelding 10: Impressie testbranden

### 2.4.5 De rookmelders

De woning is op een groot aantal plaatsen voorzien van rookmelders. In iedere ruimte is tenminste één optische rookmelder opgehangen, en op de meeste plaatsen ook een thermische melder. Zie ook afbeelding 11.

De melders waren afkomstig Sprue Safety Products Ltd. Het betrof de volgende typen:

- > Optische rookmelders van het type FireAngel WST-630-BNLT met een niet-verwisselbare 3V lithiumbatterij met een levensduur van tenminste 10 jaar. Alarmering gebeurt door middel van een geluidssignaal van 85 dB(A) op 3 meter afstand en een rood knipperend ledlampje. De rookmelders zijn draadloos onderling koppelbaar met een bereik van maximaal 300 meter.
- > Thermische melders van het type BRK H380 met een 9 volt batterij. Alarmering gebeurt door middel van een geluidssignaal van minimaal 85 dB(A) op 3 meter afstand. De rookmelders zijn voor het onderzoek gekoppeld via een IFG-100 Wireless Interface Gateway 150m. single trigger operation.



Afbeelding 11: Optische en thermische melders in het experiment

Het in alarm gaan van de rookmelders is via twee automatische systemen geregistreerd. Omdat vooraf niet met zekerheid te zeggen was of de systemen blijvend goed zouden functioneren én om een maximaal aantal rookmelders in de proef te kunnen plaatsen, is besloten beide systemen tijdens de experimenten te gebruiken.

Eén systeem is door de producent<sup>18</sup> van de melders geleverd, inclusief technische ondersteuning. Daarbij is een serie ontvangers draadloos gekoppeld aan de rookmelders in de woning. De ontvangers werden aan een laptop verbonden. Het andere systeem is door het onderzoeksteam ontwikkeld. Dit systeem werkte door rookmelders in de woning draadloos te koppelen met rookmelders buiten de woning, en deze laatste via een datakabel te koppelen aan een meetprogramma.



Afbeelding 12: Registratiesysteem 1



Afbeelding 13: Registratiesysteem 2

<sup>18</sup> Sprue Safety Products Ltd., met delegaties uit zowel het Verenigd Koninkrijk als Nederland hebben meegewerkt aan het leveren van de rookmelders en het registratiesysteem ervan.

## 2.4.6 De metingen en registraties

Tijdens de branden zijn temperatuur, hittestraling, koolstofmonoxide (CO), zuurstof (O<sub>2</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) gemeten. Er was sprake van één meetpunt per ruimte. Een uitzondering vormde de woonkamer, waar met het oog op de grootte en de geometrie van de ruimte de temperatuur op twee plekken is gemeten, namelijk ongeveer in het midden van de voor- en achterkamer. De temperatuur is op twee hoogten gemeten, namelijk op 50 en 180 centimeter hoogte. De overige metingen (CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>) zijn op 50 centimeter hoogte gemeten. Ook is het visueel beeld vastgelegd middels hittebestendige videocamera's.

De details over de metingen, apparatuur en locaties zijn opgenomen in tabel 2.

Tabel 2: Details over metingen

Parameter	Meetinstrument	Frequentie	Locaties	Bijzonderheden
Temperatuur	Thermokoppels	5x per seconde	Woonkamer 2x Keuken Hal Overloop Ouderslaapkamer Babyslaapkamer	Op 50 cm (kruipen/liggen) en 180 cm (staan) gemeten
Hittestraling	Stralingssensor	5x per seconde	Woonkamer Hal Overloop Ouderslaapkamer Babykamer	Vanaf de buurwoning door de muur gestoken. Geplaatst op 50 cm hoogte onder een hoek van 45 graden naar het plafond.
Koolstofmonoxide (CO)	Gasanalyse-apparaat	1x per 3 sec.	Woonkamer Hal Overloop Ouderslaapkamer Babykamer	Op 50 cm hoogte. Gecombineerde meting met O <sub>2</sub> en NO <sub>x</sub>
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	Gasanalyse-apparaat	1x per 3 sec.	Woonkamer Hal Overloop Ouderslaapkamer Babykamer	Op 50 cm hoogte. Gecombineerde meting met O <sub>2</sub> en CO
Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> )	Gasanalyse-apparaat	1x per 3 sec.	Woonkamer Hal Overloop Ouderslaapkamer Babykamer	Op 50 cm hoogte. Gecombineerde meting met CO en NO <sub>x</sub>
Visueel beeld	Videocamera's	Continue	X	Gecombineerd met LED-lampen op verticale lijn tegenover camera zodat dichtheid en kleur rook waar te nemen is

De locatie van de meetapparatuur is weergegeven in een plattegrond in bijlage 1.



Voorafgaand aan de brandproeven is voorzien dat de brandproeven destructief voor de woningen kunnen zijn en de constructieveiligheid kunnen bedreigen. Daarom is de meetapparatuur via gaten in de zijmuren vanaf de 'buren' in de testwoning geplaatst. Zie ook afbeelding 14. Op deze wijze kon de meetapparatuur worden beschermd tegen hitte en altijd veilig terug worden gehaald na afloop van de brandproef. Dit betekent echter dat metingen plaats hebben gevonden langs de zijmuren van de ruimten, terwijl het uit het oogpunt van metingen logisch zou zijn geweest om in het midden van de ruimte te meten. Er is derhalve bewust de keuze gemaakt voor een (beperkte) concessie in de nauwkeurigheid van metingen in het voordeel van de veiligheid tijdens de brandproeven.



Afbeelding 14: Sensoren gasanalyseapparaat en stralingsmeter door muur van de burens

De metingen zijn gestart op het moment dat de brand is ontstoken. Het testprotocol hield in dat de brand na deze start een vrij brandverloop had tot:

- > één uur (60 minuten) na start van de brand
- > de brand zich zodanig ontwikkelde dat een belendend brandcompartiment bedreigd werd. Hierin was de kapconstructie een kritiek punt.

De brandweerinzet gedurende de meting beperkte zich tot het voorkomen van brandoverslag en het beschermen van de kapconstructie. Dit is gedaan door middel van het nathouden van bedreigde uitstekende delen aan de buitenzijde van de woning zoals goten, overstekken, et cetera. Door deze beperkte interventie kon de test *in* de woning vrije doorgang vinden; als er geen interventie plaats had gevonden en de brand was buiten de testwoning volledig vrij ontwikkeld, hadden de brandproeven eerder afgebroken moeten worden.

## 2.4.7 Meteogegevens

De meteogegevens tijdens de branden zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Meteogegevens tijdens de branden

Brand:	Windrichting	Windsterkte	Temperatuur	Luchtvochtigheid
1 (slaapkamer)	WZW	6 m/s	15,5 °C	79%
2 (keuken)	ZZW	8 m/s	11,8 °C	95%
3 (woonkamer)	W	6 m/s	11,9 °C	89%
4 (woonkamer)	NNW	7 m/s	11,5 °C	73%
5 (woonkamer)	NW	6 m/s	11,7 °C	71%
6 (slaapkamer)	ZZW	5 m/s	11,5 °C	90%

## 2.4.8 Aanvullende geluidspoeven

Aanvullend aan de brandtesten zijn ook geluidspoeven uitgevoerd in één van de woningen. Hierbij is bepaald wat de geluidsterkte (volume in dB(A)) van de rookmelder was in iedere ruimte ten opzichte van de andere ruimten, zowel met de deuren open als dicht. Deze proeven werden uitgevoerd om achteraf te bepalen in hoeverre rookmelders op bepaalde locaties de norm van 65/75 dB(A) haalden, en wat het effect van het sluiten van deuren was op het geluidsniveau.

In de geluidsmeting zijn de optische rookmelders getest. In elke ruimte is een rookmelder geplaatst en in werking gezet. In deze en in de andere ruimten is het geluidsniveau gemeten. De rookmelder werd op circa 150 cm hoogte gehouden. De rookmelders geven een geluidsterkte van ruim 90 dB(A) met een frequentie van ongeveer 3100 Hz. De geluidsmeting is uitgevoerd met de Smartphone-applicatie 'decibel ultra' op een smartphone op 120 cm hoogte. Uit referentiemetingen (Geluidnieuws, 2012; 2013) blijkt dat de app bij ruis van 100 dB(A) een 5 dB(A) lagere meetwaarde geeft dan de referentiemeting, bij ruis van 80 dB(A) geeft het een 3 dB(A) lagere meetwaarde. Bij een toon met een frequentie tussen 3000 en 5000 Hz valt de meting ook 3 dB(A) lager uit dan de referentiemeting.

Deze geluidspoeven zijn uitgevoerd in de avonduren, zodat er geen geluidsoverlast was van de brandpoeven. De rookmelders zijn telkens in een ruimte in alarm gezet, waarna met behulp van een geluidsvolumemeter bepaald is wat de geluidsterkte is in de verschillende ruimten. Ook is de geluidsterkte (volume) op straatniveau en bij de burens bepaald. De resultaten van de geluidspoeven zijn opgenomen in paragraaf 5.2.

## 2.4.9 Analyse van de data

Na afloop van de experimenten zijn de data van de gemeten parameters temperatuur, hittestraling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> geanalyseerd en afgezet tegen grenswaarden. De grenswaarden zijn gebaseerd op literatuuronderzoek<sup>19</sup>. Er wordt uitgegaan van waarden die gelden voor 50% van de bevolking. Een uitbereide motivatie van de gekozen grenswaarden is opgenomen in bijlage 2. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de gehanteerde grenswaarden.

<sup>19</sup> Deels ontleend aan Hazebroek e.a. (2015).

Tabel 4: Parameters en grenswaarden

Parameter	Grenswaarde ontvluchting	Grenswaarde overleefbaarheid
Hitte (convectie + straling) <sup>20</sup>	FEDhitte $\geq 1$	$T \geq 120$ °C op 0,5m hoogte $q \geq 6$ kW/m <sup>2</sup>
CO (+ 1% ppm HCN per ppm CO)	FEDtox $\geq 1$ OF 10 min AEGL-2 (CO $\geq 420$ ppm)	10 min AEGL-3 (CO $\geq 1700$ ppm) 30 min AEGL-3 (CO $\geq 600$ ppm) <sup>21</sup>
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> $\leq 13\%$	O <sub>2</sub> $\leq 6\%$
NO <sub>x</sub>	10 min AEGL-2 (NO <sub>x</sub> $\geq 20$ ppm)	10 min AEGL-3 (NO <sub>x</sub> $\geq 34$ ppm)

De bovenstaande grenswaarden worden in dit onderzoek gehanteerd om een inschatting te maken van de mate waarin aanwezigen nog kunnen vluchten, overleven en/of groot risico lopen op lange termijn gezondheidsschade. Daarbij worden echter nadrukkelijk de volgende kanttekeningen geplaatst<sup>19</sup>:

- > Deze inschatting heeft betrekking op gezonde, volwassen personen. Andere leeftijdsgroepen of personen met een grotere gevoeligheid zullen eerder een drempel ervaren om te vluchten en mogelijk ook eerder overlijden. De genoemde grenzen richten zich op 50 procent van de bevolking.
- > Dit betreft een theoretische inschatting op basis van enkele factoren. De combinatie van factoren kan slecht worden gekwantificeerd maar zal in de praktijk een (negatief) effect hebben.
- > De grenswaarden van de losse factoren zijn ontleend aan literatuur. Op basis hiervan is een inschatting gemaakt van de grenswaarden. Hierbij is zoveel mogelijk aangesloten bij internationaal geldende richtlijnen voor Fire Safety Engineering. Nadere informatie is opgenomen in bijlage 2.
- > Bij irriterende stoffen zoals NO<sub>x</sub> leidt overschrijding van de grenswaarde voor overleefbaarheid niet meteen tot sterfte. Langdurige blootstelling of blootstelling aan hoge concentraties kan leiden tot longoedeem, verlaging van de bloeddruk en bloedschade. Afhankelijk van de ernst en eventuele complicaties leidt dit tot langdurige gezondheidsschade of overlijden.
- > De (extra) kans op overleven door reanimatie na redding is niet in dit onderzoek opgenomen.

De aanname voor het percentage waterstofcyanide (HCN) in relatie tot de gemeten hoeveelheid koolstofmonoxide (CO) in de grenswaarden is anders dan in het eerder verschenen rapport<sup>22</sup> over deze experimenten. De reden hiervoor is dat er in de tussentijd nieuwe wetenschappelijke inzichten gepubliceerd zijn, die de aangepaste grenswaarden rechtvaardigen<sup>23</sup>. De grenswaarden voor ontvluchting zijn voor zuurstof en temperatuur iets naar beneden en voor straling iets naar boven bijgesteld, zodat de grenswaarden in overeenstemming zijn met ISO 13571 en het SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. De grenswaarden voor temperatuur en straling zijn vervangen door FEDhitte, zodat de resultaten beter toepasbaar

<sup>20</sup> Ter informatie zijn ook de grenswaarden voor convectie ( $T \geq 120$  °C op 1,8m hoogte) en straling ( $q \geq 2,5$  kW/m<sup>2</sup>) in de bijlage opgenomen, maar FEDhitte is leidend voor het effect van hitte op ontvluchting.

<sup>21</sup> Omdat er discussie is over de grenswaarden van CO (zie bijlage 2) wordt ook extra grenswaarden geanalyseerd, van 10 minuten blootstelling aan 6400 ppm, 3 minuten blootstelling aan 12800 ppm of acute blootstelling aan 8000 ppm. Zo kan een lezer indien hij een keuze maakt voor een andere grenswaarde ook de resultaten interpreteren.

<sup>22</sup> Hazebroek e.a. (2015).

<sup>23</sup> In paragraaf 3.2.4 wordt het onderzoek van Guillaume, Didieux, Thiry & Bellivier (2014) besproken. Daaruit blijkt dat de HCN/CO ratio bij verbranding van polystyreeschuim (bank, matras) nabij 1% ligt in plaats van nabij de eerder geschatte 5%.



zijn voor gebruik in het kader van Fire Safety Engineering. De grenswaarden voor temperatuur en straling zijn ter informatie wel in het rapport opgenomen, maar zijn niet leidend.

Het moment van het bereiken van deze grenswaarden is afgezet tegen het moment waarop de rookmelders afgingen. In de analyse is gekeken naar het effect van het hebben van rookmelders conform de huidige regelgeving en adviezen, en vier andere maatregelen:

- > het kiezen van thermische in plaats van optische melders,
- > het sluiten van binnendeuren bij niet gekoppelde optische rookmelders in de verkeersruimten,
- > het koppelen van rookmelders in de verkeersruimten,
- > en het plaatsen van gekoppelde rookmelders in de verkeersruimten én de brandruimte.

De resultaten van het praktijkonderzoek zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

# 3 Literatuuroverzicht

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de aspecten die relevant zijn in het kader van het bepalen van de effectiviteit van rookmelders. Allereerst wordt op basis van regelgeving en bestaande evaluaties ingegaan op de aanwezigheid en locatie van rookmelders in Nederland (paragraaf 3.1). Ook komt de effectiviteit<sup>24</sup> van rookmelderinterventies in het buitenland aan de orde. In paragraaf 3.2 worden de onderwerpen besproken die zijn gerelateerd aan detectie, zoals de werking van verschillende typen rookmelders en hinderlijke activering. Daarna wordt ingegaan op factoren die van belang zijn in de fase van alarmering, zoals de mensfactor bij fatale woningbranden, het ontwaken in geval van brand en geluidsreductie bij rookmelders in woningen (paragraaf 3.3). In paragraaf 3.4 wordt tenslotte ingegaan op de fase van ontvluchting. Hoewel dit niet direct gerelateerd is aan rookmelderkenmerken (zie ook figuur 1 in paragraaf 1.3), is het wel degelijk van belang voor de effectiviteit van rookmelders. Immers, om te kunnen vluchten moeten de aanwezigen in de woning op tijd zijn gealarmeerd. Hierbij zijn de grenswaarden voor ontvluchting en overleefbaarheid bij brand relevant. Verder wordt ingegaan op de relatie tussen rookmelders en fatale woningbranden in het buitenland.

## 3.1 Aanwezigheid en locatie van rookmelders

### 3.1.1 Voorlichting en regelgeving over rookmelders

#### *Eisen in regelgeving*

Sinds 2003 worden rookmelders in het Bouwbesluit verplicht gesteld voor nieuw te bouwen woningen en bij functiewijziging naar een woonfunctie. Voor de nadere eisen wordt verwezen naar NEN 2555. In tabel 5 zijn de belangrijkste geldende eisen voor rookmelders (conform NEN 2555 of Bouwbesluit) samengevat.

Tabel 5a: Belangrijkste geldende eisen voor rookmelders

Item	Eis in NEN 2555 of Bouwbesluit
Type	Optisch
Energievoorziening	De rookmelder moet vast zijn aangesloten (volgens NEN 1010) op een eindgroep en moet zijn voorzien van een secundaire energievoorziening.
Locatie	Een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert heeft tussen de uitgang van een verblijfsruimte en de uitgang van de woonfunctie één of meerdere rookmelders. Indien een ruimte uit meerdere verdiepingen of bouwlagen bestaat, dan moet op iedere verdieping of bouwlaag ten minste één rookmelder worden aangebracht. Op de vluchtroute van de voordeur van een woning naar de toegang van een woongebouw is geen rookmelder verplicht.

<sup>24</sup> Hier wordt onder effectief verstaan dat er een toename is in het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats.

Tabel 5b: Belangrijkste geldende eisen voor rookmelders

Item	Eis in NEN 2555 of Bouwbesluit
Geluidsvolume (eis sinds 2008)	In iedere verblijfsruimte en een buiten een verblijfsruimte gelegen vluchtroute in de woning, moet het minimale geluidniveau van het alarmsignaal van de rookmelder, gemeten op enig punt in die ruimte, minimaal 65 dB(A) en in iedere bedruimte minimaal 75 dB(A) bedragen. Het geluidniveau moet worden gemeten in het midden van de ruimte op een hoogte van 1,5 meter boven de vloer, met alle beweegbare constructiedelen (zoals deuren en ramen) in gesloten toestand.
Geluidsvolume (eis 2003-2008)	Op het moment dat de rookmelder in alarmstatus treedt, moet de op de elektrische installatie aangesloten rookmelder gedurende tenminste 4 minuten een akoestisch alarmsignaal genereren. Het geluidniveau van het alarmsignaal moet tenminste 85 dB(A) bedragen, op een afstand van 3 meter van de rookmelder. Wanneer de rookmelder is voorzien van een batterij of accu, dan moet het geluidniveau van het alarmsignaal na 1 minuut tenminste 85 dB(A) bedragen en na 4 minuten tenminste 82 dB(A).
Koppelen	Als het geëiste geluidsniveau in een ruimte niet wordt gehaald (met de verst gelegen rookmelder), is het nodig om de rookmelders te koppelen. De koppeling mag zowel via een elektrische leiding als draadloos plaatsvinden.
Geluidsfrequentie	Er worden geen eisen gesteld aan de geluidsfrequentie (Hz) van een rookmelder.

#### Adviezen van Brandweer Nederland

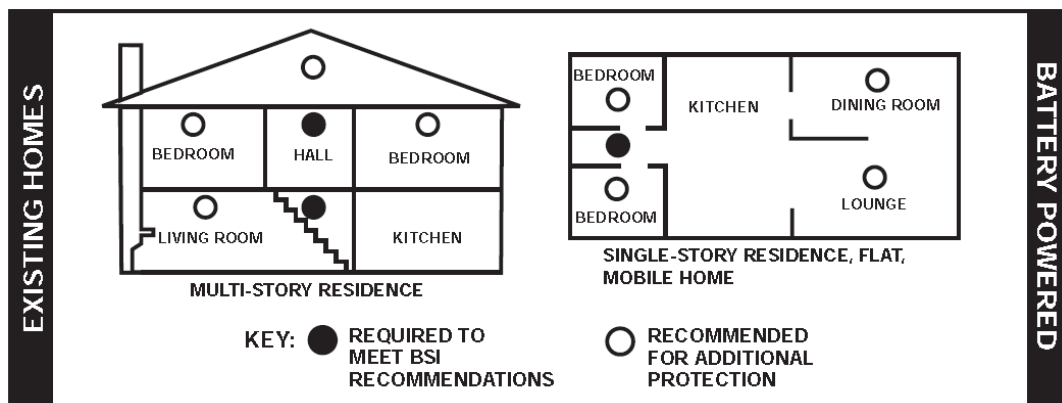
Brandweer Nederland adviseert op haar website ([www.brandweer.nl](http://www.brandweer.nl)) en via de folder *Rookmelders en brandblussers* over rookmelders in huis. Het advies geldt voor bestaande woningen (van bouwjaar 2002 en ouder) en bestaat uit de volgende kernpunten:

- > De beste locatie voor een rookmelder is in de gang of ruimte tussen keuken en woonkamer, op elke verdieping in huis, altijd aan het plafond en meer dan 50 cm van de zijmuur en hoeken van een vertrek. Plaats een rookmelder vanwege de kans op valse meldingen *niet* in de deuren van de keuken of de badkamer, in de garage, bij een ventilator of ventilatieopening, boven de verwarming en op tochtige plekken.
- > Gebruik bij voorkeur onderling verbindbare rookmelders.
- > Een batterij gaat gemiddeld één jaar mee. Als u de batterij plaatst, plak dan meteen een datumstickertje op de rookmelder. Zo weet u altijd wanneer hij voor het laatst is vervangen. Test regelmatig of de rookmelder nog werkt.
- > Kies altijd voor een goedgekeurde rookmelder.

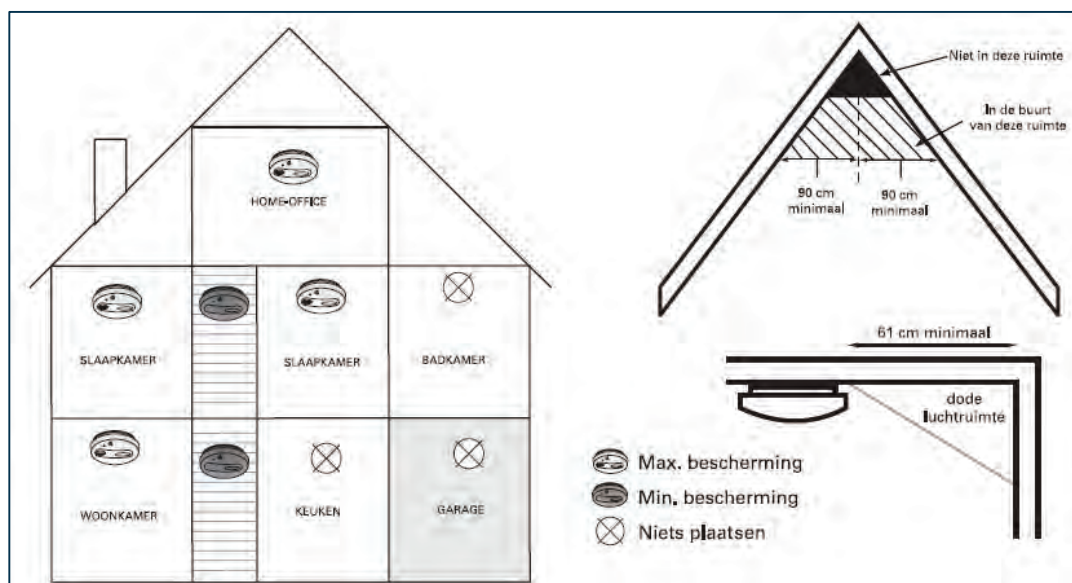
In de folder *Brandveilig wonen* adviseert Brandweer Nederland daarnaast om vooral de vluchtweg van slaapkamer naar buiten via rookmelders te bewaken en om in de kinderkamer een rookmelder te plaatsen.

#### Adviezen van rookmelderproducenten en -verkopers

In handleidingen van rookmelderproducenten (onder andere BRK, Sprue (First Alert), Alecto, ELRO) wordt veelal via een afbeelding geadviseerd over de beste locatie van rookmelders. Figuren 2 en 3 zijn voorbeelden van een dergelijke afbeeldingen. ELRO adviseert bovendien om ervoor te zorgen dat het geluid, zelfs met de radio aan, in iedere slaapkamer gehoord kan worden. Dit advies is in andere folders en handleidingen niet aangetroffen. In klusadviezen van bouwmarkten en op websites van rookmelderproducenten wordt geadviseerd om in de keuken en/of badkamer een thermische melder te plaatsen.



Figuur 2: Advies van rookmelderproducenten over beste locatie van rookmelder



Figuur 3: Advies van rookmelderproducenten over beste locatie van rookmelder

Op basis van de regelgeving en de adviezen van Brandweer Nederland en rookmelderproducenten kan voor de locatie van rookmelders onderscheid gemaakt worden in een:

- *minimale* bescherming (tenminste één rookmelder per bouwlaag in verkeersruimten, zoals hal en overloop), en
- *maximale* bescherming (ook in woonkamer, slaapkamers en op zolder).

### 3.1.2 Bouwjaar woning in relatie tot rookmelders

Uit het *Omnibusonderzoek 2011* gehouden onder 450 inwoners van Alkmaar (O&S Alkmaar, 2011) komt naar voren dat rookmelders met name hangen in woningen die gebouwd zijn na 1992 (in 83% van de woningen van na dit bouwjaar) en minder vaak in woningen van vóór 1992 (in 65% van de woningen van voor dit bouwjaar). Het is niet bekend hoe de aanwezigheid van rookmelders zich in Alkmaar verhoudt tussen woningen die voor en na 2003 zijn gebouwd.

### 3.1.3 Rookmelders op het lichtnet versus rookmelders op batterijen

Intomart GfK heeft in 2009 een enquête gehouden onder 1043 consumenten (Van den Berg, Janssen & Tieben, 2009). Daaruit komt naar voren dat 74% een rookmelder op batterijen in de woning heeft en 7% heeft een rookmelder op het lichtnet (totaal 81%). Dit betekent dat 91% van alle woningen met rookmelders zijn voorzien van rookmelders op batterijen en 9% van rookmelders op het lichtnet.

In een onderzoek van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT, 2013) is de eis 'rookmelders aangesloten op het lichtnet' beoordeeld bij 91 panden voor studentenhuisvesting, verdeeld over 26 gemeenten, in de periode december 2012 tot en met maart 2013. Bijna alle locaties betreffen gewone woonhuizen, die direct vanaf de straat bereikbaar zijn. De locaties bestaan meestal uit twee tot vier woonlagen en vijf tot acht kamers (wooneenheden). Een kwart van de onderzochte locaties betreft kamers boven/naast een winkel of een andere functie dan wonen.

Van de 91 bezochte locaties beschikken 58 (64%) over een rookmelder in de besloten ruimten waardoor een vluchtroute loopt. Hoewel sinds het bouwbesluit 2012 niet meer verplicht, beschikken 16 locaties (18%) over een brandmeldinstallatie. Aangezien deze installaties dezelfde functie hebben als een rookmelder, vervalt voor deze locaties de verplichte aanwezigheid van rookmelders. De overige 42 locaties (46%) beschikken over een rookmelder die is aangesloten op het lichtnet, 33 (36%) locaties beschikken niet over een dergelijke rookmelder in de verkeersruimte. Er lijkt een positief verband te zijn tussen deze investeringen en het voldoen aan de eisen ten aanzien van met name rookmelders. Bij de 38 panden waar geïnvesteerd is, voldoen in 21 (55%) gevallen de rookmelders. Bij de 44 panden zonder investeringen zijn de percentages lager: daar voldoen de rookmelders bij 18 (41%) locaties.

Op 39 locaties moeten ook de wooneenheden uitgerust zijn met een rookmelder. Slechts bij 6 (15%) locaties is in de wooneenheden een rookmelder aanwezig die is aangesloten op het lichtnet. Bij 33 (85%) locaties is dit niet het geval. In de panden waar geen rookmelder aanwezig is, is bovendien sprake van installatietechnische gebreken (n=10; 30%), zoals kapotte wanddozen of niet geïsoleerde of openliggende bedrading, als van brandonveilig gebruik (n=13; 39%), zoals het gebruik van veel verlengsnoeren en stekkerdozen. In panden waar geen eis geldt voor een rookmelder in de wooneenheden, is in 12 gevallen toch een rookmelder aanwezig. Dit is alleen geconstateerd in panden van particuliere verhuurders.

### 3.1.4 Aanwezigheid rookmelders in relatie tot eigendom van woning

Uit het eerdergenoemde *Omnibusonderzoek 2011*, gehouden onder 450 inwoners van Alkmaar (O&S Alkmaar, 2011), blijkt dat in 54% van de huurwoningen een rookmelder aanwezig is, tegenover 73% van de koopwoningen. De belangrijkste reden die huurders noemen voor de afwezigheid is dat zij van mening zijn dat de verhuurder rookmelders moet aanbrenge (37%). Van alle respondenten heeft 78% één of meerdere rookmelders geïnstalleerd.

Uit de *Omnibusenquête 2012*, gehouden onder 1210 inwoners van Zoetermeer (O&S Zoetermeer, 2013), blijkt dat in 76% van de huurwoningen één of meerdere rookmelders aanwezig zijn, tegenover 78% van de koopwoningen.

Een online onderzoek onder huiseigenaren, in 2009 uitgevoerd door Vereniging Eigen Huis onder 968 deelnemers van Eigen Huis Panel, laat zien dat 85% van de respondenten ten minste één rookmelder in huis heeft (VEH, 2009). 95% van deze rookmelders zijn ook daadwerkelijk in gebruik (= 81% van het totaal). 67% van de ondervraagden drukt minimaal eens per jaar de testknop in, 37% maakt minimaal eens per jaar de rookmelder schoon en 36% vervangt minimaal eens per jaar de batterij.

### 3.1.5 Aanwezigheid rookmelders in relatie tot (risico)groepen

In een onderzoek onder 5622 inwoners van Groningen in 2012 (Van Teerns, 2012) is onder andere gevraagd naar aanwezigheid van rookmelders in de woningen en naar woon- en leefomstandigheden. Gemiddeld heeft 63% één of meer werkende rookmelders in de woningen. In woningen van personen met de volgende kenmerken zijn relatief vaak werkende rookmelders geïnstalleerd:

- > Huishoudens met hoge inkomens (72%)
- > Huishoudens met 3 of meer personen (71%)
- > Studenten (69%)
- > Jongeren (68%)
- > Eigenaren van woningen met hoge score op kwaliteit (68%)
- > Eigenaren van koopwoningen (65%).

Bij de volgende personen is relatief vaak *geen* werkende rookmelder in huis:

- > Eenpersoonshuishoudens (49%)
- > Huurders (52%)
- > Eigenaren van woningen met een lage score op kwaliteit (52%)
- > Werkelozen en uitkeringsgerechtigden, ook AOW-ers (52%-56%)
- > Lager opgeleiden (53%)
- > Huishoudens met lage inkomens (55%)
- > 55-plussers (57%).

Ook in Kampen (O&S Zwolle, 2011) blijken personen in de leeftijd van 55 jaar en ouder, personen met laag inkomen (een netto inkomen minder dan 1350 euro) en bewoners van huurwoningen een risicogroep te vormen. Daarnaast vormen huurders ook in Alkmaar (O&S Alkmaar, 2011) een risicogroep: 54% heeft geen rookmelder. Uit de *Omnibusenquête 2012*, gehouden onder 1210 inwoners van Zoetermeer (O&S Zoetermeer, 2013), blijkt daarentegen dat huurwoningen *geen* risicogroep vormen: in 76% van de huurwoningen is één of meerdere rookmelders aanwezig. Het beeld wisselt dus sterk.

### 3.1.6 Aanwezigheid van rookmelders voor/na voorlichtingscampagnes

Elk jaar voert het Netwerk Nationale Brandpreventieweken een landelijke campagne om meer aandacht te vragen voor brandveiligheid in Nederland. Tijdens de campagne in 2013 is onder andere aandacht besteed aan de aanwezigheid van rookmelders in woningen. Zo is een rookmelderteam actief die op aanvraag een rookmelder in huis kan installeren. Voor en na de campagne in 2013 is een internetmeting (steekproef) gedaan (NBS, 2014). Daaruit blijkt dat na de campagne 86% een rookmelder of combimelder in huis had, 2% meer dan voor de campagne. In de jaren 2006, 2007 en 2008 was de landelijke campagne geheel gericht op rookmelders. In de evaluatie van de rookmeldercampagne in 2008 registreert de Stichting Nationale Brandpreventieweken over de drie campagnejaren een toename van rookmelders in woningen van 64% naar 74% (SNBPW, 2009).

Naast landelijke campagnes worden ook op lokaal niveau actie ondernomen om de aanwezigheid van rookmelders in woningen te verhogen. Hierna volgen evaluaties van enkele lokale campagnes, veelal uitgevoerd door (toenmalige) gemeentelijke brandweerkorpsen.

#### Assen

Als gevolg van een campagne in Assen (onbekend, 2010), waarbij brandveiligheidschecks in woningen plaatsvonden, blijkt dat in 93% van de totaal 8540 huishoudens in Assen-Oost/Loon en Marsdijk één of meer rookmelders hangen. In 2008 was in 56% van de woningen in Assen een rookmelder aanwezig. De relatief hoge rookmelderdichtheid in 2010 is het resultaat van:

- > het hoge aantal aangevraagde brandveiligheidschecks,
- > inclusief het ophangen van rookmelders door de adviseurs brandveiligheid wanneer geen rookmelder in de woning is aangetroffen,
- > én het feit dat woningcorporatie Actium in 2009 in al haar huurwoningen rookmelders heeft opgehangen.



## Amersfoort

In Amersfoort zijn in de periode van november 2006 tot december 2010 in drie wijken<sup>25</sup> woninginspecties uitgevoerd (Brandweer Amersfoort 2007; Brandweer Amersfoort 2008; Van de Burgwal, 2014). In totaal zijn bij 5194 (62%) van de 8419 woningen<sup>26</sup> in deze wijken woninginspecties uitgevoerd. Bij 63% van de geïnspecteerde woningen was vooraf geen rookmelder aanwezig, zie tabel 6.

Tabel 6: Aanwezigheid en plaatsing rookmelders Amersfoort, periode november 2006 tot december 2010

	Absoluut	%
Aantal inspecties	5194	100%
Geen rookmelder aanwezig	3255	63%
Geen rookmelders geplaatst door de brandweer na inspectie	372	7%
1 rookmelder geplaatst door de brandweer na inspectie	2797	54%
2 rookmelders geplaatst door de brandweer na inspectie	1616	31%
3 of meer rookmelders geplaatst door de brandweer na inspectie	400	8%

In 4813 woningen (93%) zijn tijdens de inspectie door de brandweer (extra) rookmelders geplaatst. In 54% van de woningen is één rookmelder geplaatst, in 31% van de woningen zijn twee rookmelders geplaatst en in 8% van de woningen zijn drie of meer rookmelders geplaatst.

In de wijk Kruiskamp is vlak na het afronden van het project (in 2007) een telefonische enquête gehouden onder de bewoners van de geïnspecteerde woningen. Daarbij zijn in de periode van maximaal een jaar na de inspectie willekeurig een aantal adressen na gebeld. Uit deze nacontrole blijkt dat 98% van de al aanwezige en/of nieuw geplaatste rookmelders nog in de woning hangen, 2% is naderhand verwijderd. Verder is gevraagd of na de inspectie sprake is geweest van een valse melding door de rookmelder. In 14% van de woningen heeft de rookmelder een valse melding veroorzaakt. Op de vraag of de bewoners de rookmelder(s) al eens hebben getest antwoordt 37% positief.

### 3.1.7 Effectiviteit van rookmelderinterventies

In verschillende studies is (onder andere) het effect van rookmelderinterventies gemeten. Zo zijn in een grootschalige review van onderzoeken naar de effectiviteit<sup>27</sup> van rookmelderinterventies in de Verenigde Staten (Warda, Tenenbein & Moffatt, 1999) evaluaties meegenomen

<sup>25</sup> Er zijn woningen in de wijken Stadskern, Kruiskamp en Liendert bezocht. De wijk Kruiskamp komt voor in de lijst van de top 40 aandachtswijken in Nederland, zoals deze in 2007 door toenmalig minister Vogelaar is opgesteld, de zogeheten 'Vogelaarwijken'. Eind 2012 is de wijk Kruiskamp als eerste van de top 40 lijst gehaald. Liendert heeft nooit op deze lijst gestaan, maar kent dezelfde problematiek. In Stadskern staan woningen in oude bouwstijl dicht opeen gebouwd en heeft daarom een verhoogd brandveiligheidsrisico.

<sup>26</sup> Studentenwoningen en verzorgingshuizen zijn niet bezocht. Deze vallen namelijk onder de gebruiksvergunning en hebben daarom al rookmelders en krijgen periodiek brandveiligheidscontroles.

<sup>27</sup> Hier wordt onder effectief verstaan dat er een toename is in het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats.

uit de periode 1979-1990 en 1994. De geëvalueerde interventies betreffen onder andere regelgeving voor rookmelders, advisering aan ouders van jonge kinderen over rookmelders en acties waarbij gratis rookmelders worden verstrekt.

In de studie naar het effect van wetgeving voor rookmelders is wetgeving in de ene staat vergeleken met wetgeving in een andere staat. In de ene wetgeving is vastgelegd dat in alle woningen, zowel in bestaande als in nieuwbouwwoningen, een rookmelder aanwezig moet zijn en in de andere wetgeving is alleen voor nieuwbouwwoningen een rookmelder geëist. De wetgeving met de rookmeldereis voor alle woningen, ongeacht het bouwjaar, blijkt effectiever dan de wetgeving met de rookmeldereis voor alleen nieuwbouwwoningen. In de woningen in de staat met de rookmeldereis voor alle woningen waren namelijk vaker rookmelders geïnstalleerd (94% versus 84%) en de aanwezige rookmelders bleken vaker te werken (83% versus 70%).

De advisering aan ouders met jonge kinderen bestond uit een kort advies tijdens een bezoek aan het consultatiebureau voor jeugdzorg, een folder en een aanbieding om rookmelders tegen kostprijs te kopen. Van de 55 gezinnen in de experimentgroep hadden 26 gezinnen (47%) binnen 6 weken een rookmelder aangeschaft, tegenover geen enkel gezin (0%) in de controlegroep. Uit een andere evaluatie blijkt echter dat het effect van educatieve interventies daarentegen minimaal is (DiGuseppi, Goss & Higgins, 2009).

De campagnes waarin gratis rookmelders worden verstrekt blijken met name in stedelijk gebied met een hoog risico op woningbranden erg succesvol te zijn. In één van de evaluaties van een weggeefactie was na vier tot negen maanden na de actie in 81% van de woningen de rookmelder geïnstalleerd en werkend. Deze acties zijn daarentegen erg kwetsbaar wat betreft het onderhoud van de rookmelders. Het is daarom volgens de betrokken onderzoekers nodig om weggeefacties op lange termijn op te laten volgen door onderhouds- en inspectieprogramma's. De beperkte effectiviteit van weggeefacties op lange termijn wordt bevestigd in een evaluatie van drie verschillende campagnes onder huishoudens met een hoog brandveiligheidsrisico in de Verenigde Staten<sup>28</sup> (Shults e.a., 1998). In 58% tot 73% van de woningen waarin drie tot vier jaar daarvoor rookmelders waren geïnstalleerd, was nog tenminste één werkende rookmelder aanwezig. In 76% van de woningen met een niet-werkende rookmelder ontbrak de batterij of was deze losgekoppeld. In een recentere evaluatie van een weggeefactie werkte bijna de helft van de rookmelders na 15 maanden niet meer (Rowland e.a., 2002).

Een campagne waarbij rookmelders ter plaatse worden geïnstalleerd lijkt effectiever dan het uitdelen van gratis rookmelders (Harvey e.a., 2004). Dit blijkt uit een drie jaar durend project waarin onderzoek is gedaan naar twee methoden om installatie en onderhoud van rookmelders te promoten in huishoudens die tot een hoge risicogroep voor woningbranden behoren (N=218). De eerste strategie bestond uit een directe installatie en de tweede uit het uitdelen van vouchers om gratis rookmelders af te halen. Beide groepen hebben informatie gekregen over goede installatie en onderhoud van de rookmelder en voorlichting omtrent brandveiligheid. Bij het installeren van de gratis rookmelders en het uitdelen van vouchers is rekening gehouden met de NFPA aanbevelingen over de hoeveelheid en plaats van de rookmelders en in de meeste gevallen is er sprake van rookmelders met een batterij met een levensduur van tien jaar. Zes tot twaalf maanden na de interventie bleek in 90% van de huishoudens in de installatiegroep werkende rookmelders aanwezig te zijn in vergelijking met 65% van de vouchergroep. Ook uit een andere evaluatie komt naar voren dat de aanwezigheid van rookmelders in woningen wordt vergroot door campagnes waarbij rookmelders ter plaatse worden geïnstalleerd, maar de kwaliteit van het bewijs is beperkt en dergelijke campagnes zijn kostbaar om uit te voeren (DiGuseppi e.a., 2009).

---

<sup>28</sup> Delen van Minnesota, Cherokee County (North Carolina) en Oklahoma City (Oklahoma).

### 3.1.8 Samenvatting

In Nederland zijn rookmelders verplicht voor woningen die na 2003 zijn gebouwd. De verplichte rookmelders moeten in de vluchtroute in de woning geplaatst worden. Rookmelders zijn niet verplicht voor woningen die voor 2003 gebouwd zijn. Wel worden mensen, onder andere door de brandweer, gestimuleerd om rookmelders op te hangen. Voor de locatie van rookmelders onderscheid gemaakt worden in een:

- > *minimale* bescherming (tenminste één rookmelder per bouwlaag in verkeersruimten, zoals hal en overloop), en
- > *maximale* bescherming (ook in woonkamer, slaapkamers en op zolder).

Veruit de meeste woningen met rookmelders zijn voorzien van rookmelders op batterijen en een klein deel is voorzien van rookmelders op het lichtnet.

Rookmelders lijken minder vaak aanwezig te zijn in woningen van eenpersoonshuishoudens, eigenaren van woningen met een lage score op kwaliteit, werkelozen en uitkeringsgerechtigden, lager opgeleiden, huishoudens met lage inkomens en 55-plussers.

Rookmeldercampagnes blijken op korte termijn effectief, vooral als de rookmelder door het voorlichtingsteam zelf worden geïnstalleerd. Op lange termijn blijken rookmelderacties met rookmelders met een korte levensduur van de batterij slechts beperkt effectief.

Wetgeving waarin rookmelders voor alle woningen verplicht wordt gesteld, blijkt in het buitenland een doeltreffende maatregel om de aanwezigheid van werkende rookmelders te stimuleren.

## 3.2 Detectie

### 3.2.1 Type rookmelders

In Nederlandse woningen komen ruwweg drie typen rookmelders voor, namelijk optische melders, thermische melders en gecombineerde CO-/rookmelders. Deze typen melders hebben twee functies in één apparaat, namelijk het detecteren van brand en het alarmeren van de aanwezigen in de woning.

#### *Optische melders*

Optische melders worden het meest toegepast. De optische melder reageert op rookdeeltjes die een lichtbron of lichtstraal verduisteren. Een foto-elektrische sensor meet continue of dit gebeurt. Boven een bepaalde gemeten waarde treedt de alarmering in werking. Een optische melder reageert op zichtbare verbrandingsgassen, maar niet op onzichtbare toxische of verstikkende gassen, zoals koolstofmonoxide. Daarnaast reageert de optische melder ook op (ronddwarrelend) stof en waterdamp. Dit maakt de optische melder minder geschikt voor ruimtes waarin stof of stoom aanwezig is, zoals de keuken, badkamer en garage. Verder beïnvloedt TL-verlichting de werking van optische melders. Daarom moeten de melders niet nabij dergelijke verlichting geplaatst worden.

#### *Thermische melders*

De thermische melder, of hitemelder, reageert op temperatuurschommelingen. Bij brand in een woning komen eerst veel rook en giftige gassen tot ontwikkeling, voordat er grote temperatuurschommelingen optreden. Dit maakt de thermische melder minder geschikt voor de woning. Alleen op plaatsen waar een optische melder niet kan worden toegepast, zoals in de keuken, is een thermische melder over het algemeen zinvol.

#### *Gecombineerde CO-/rookmelder*

Een gecombineerde CO-/rookmelder, of combimelder, is een combinatie van een optische melder en een koolstofmonoxidemelder. Koolstofmonoxide (CO) is een gas wat zich redelijk evenwichtig verspreid door de lucht. Het heeft een vergelijkbaar soortelijk gewicht als lucht.

Omdat rook stijgt en de koolstofmonoxide in opmengt in lucht moet een gecombineerde mel-der net als een normale rookmelder worden opgehangen aan het plafond.<sup>29</sup> Combimelders maken geen onderzoek uit van dit onderzoek.

#### *Batterijen, lichtnetaansluiting en onderlinge koppeling*

De rookmelders die consumenten doorgaans in huis hebben zijn rookmelders met batterijen (9 volt), maar er zijn ook rookmelders die zijn uitgevoerd met lichtnetaansluiting (230 volt). Rookmelders die via netspanning worden gevoed hebben het voordeel dat batterijen niet vervangen hoeven te worden. Het nadeel is dat ze niet werken als de stroom uitvalt (kortsluiting, brand) hoewel de melder over het algemeen is uitgerust met een noodstroomvoorziening. Dat is een batterij die in werking treedt als de stroom is uitgevallen.

De meeste type rookmelders werken los van elkaar, ook als meerdere rookmelders in de woning zijn geplaatst. Er zijn daarentegen ook rookmelders die onderling gekoppeld kunnen worden, zodat alle rookmelders alarm geven. Deze koppeling kan via bedrading of draadloos tot stand gebracht worden.

### **3.2.2 Functioneren en juiste locatie van rookmelders**

Dat respondenten in verschillende studies aangeven tenminste één rookmelder in huis te hebben (zie paragraaf 3.1), wil nog niet zeggen dat de rookmelder functioneert en op de juiste plaats hangt het doet. In deze subparagraaf wordt een indicatie gegeven of de aanwezige rookmelders werken en op de juiste locaties zijn geplaatst, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor een minimale bescherming.

Een belangrijk probleem bij de rookmelders op batterijen is dat de werking over de tijd niet gegarandeerd is, onder andere doordat de batterijen niet worden vervangen. Uit Amerikaans onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat 83% van de rookmelders na 6 maanden nog werkt, aflopend tot 63% na 15 maanden (Parmer, Corso & Ballesteros, 2009). Op basis van deze informatie veronderstellen Van den Berg e.a. (2009) dat 65% van de rookmelders op batterijen nog werkzaam is.

Uit een onderzoek van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT, 2013) bij 91 panden voor studentenhuisvesting blijkt dat in 16 panden wel een rookmelder aanwezig is, maar niet volgens de eis functioneert: in 9 gevallen is de rookmelder niet aangesloten op 230 Volt en in 7 gevallen is de rookmelder gesloopt of afgeplakt.

In Alkmaar (O&S Alkmaar, 2011) heeft 78% één of meerdere rookmelders geïnstalleerd, waarbij 93% aangeeft dat de rookmelder het daadwerkelijk doet. In Peize (4900 inwoners) is een aselechte steekproef gehouden waarbij 313 respondenten hebben gereageerd (Vellinga, 2013). Uit dit onderzoek blijkt dat 74% een geïnstalleerde en werkende rookmelder heeft. Daarvan heeft 86% een rookmelder in de gang en/of overlopen of trapgat hangen, 32% in de woonkamer en/of slaapkamers en 26% in de keuken. De meeste mensen (75%) hebben twee of meer rookmelders in hun huis geïnstalleerd. In meer dan 90% van de gevallen hangen deze rookmelders op een juiste plek, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor een minimale bescherming. Dit is namelijk in de gang en/of overloop of trapgat. Van diegene die maar één rookmelder heeft (25%), installeert 73% deze op de juiste plek. Daarmee is in Peize in totaal in 63%<sup>30</sup> van de gevallen de werkende rookmelder op de juiste plek geïnstalleerd.

<sup>29</sup> Bron: [http://www.brandweer.nl/brandveiligheid/veilig\\_wonen/koolstofmonoxide](http://www.brandweer.nl/brandveiligheid/veilig_wonen/koolstofmonoxide)

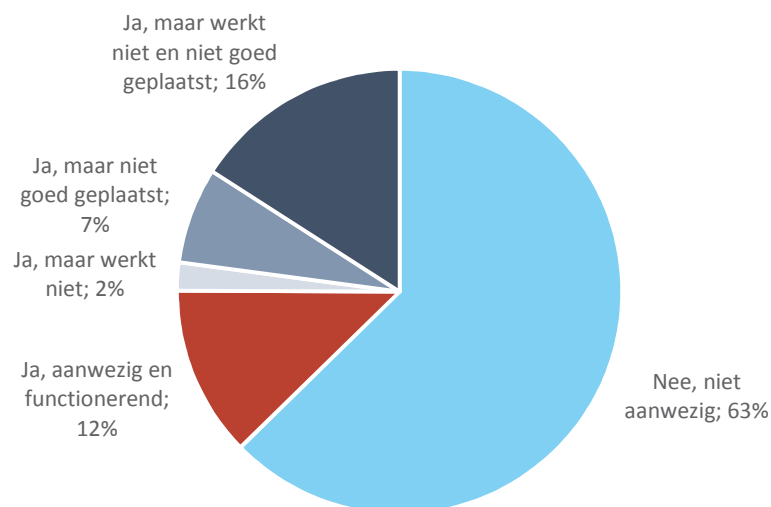
<sup>30</sup> 73% van 25% van 74% respondenten met één werkende rookmelder en 90% van 75% van 74% respondenten met twee of meer werkende rookmelders (of: 74% van 86% van de respondenten met een rookmelder in de hal/gang of het trapgat).

Uit een onderzoek onder 5622 inwoners van Groningen (Van Teerns, 2012) blijkt dat gemiddeld 63% één of meer werkende rookmelders in de woning heeft geïnstalleerd. Gemiddeld heeft 18% één rookmelder en 45% heeft meerdere rookmelders in huis, waarbij in de meeste gevallen (42%) alle aanwezige rookmelder het doen en in een enkel geval (3%) maar een deel werkt. Uit het Groningse onderzoek blijkt niet waar de rookmelders zijn opgehangen.

In de *Omnibusenquête Purmerend 2011* (TBI Purmerend, 2011), gehouden onder 1286 respondenten, is wel gevraagd naar de locatie van de rookmelders. Bij 78% van de respondenten is een rookmelder in hun woning geïnstalleerd, waarbij bij 72% een rookmelder in het trapgat aanwezig is, 59% in de gang/hal, 26% in de keuken, 25% in de woonkamer en 18% in de slaapkamer. Van de geïnstalleerde rookmelders doet 93% het daadwerkelijk. Daarmee beschikt 73% van de woningen in Purmerend over een geïnstalleerde en werkende rookmelder. Dit zou kunnen betekenen dat in 67% (93% van 72%) van de woningen een werkende rookmelder in het trapgat aanwezig is, bij 55% in de gang/hal, bij 24% in de keuken, bij 23% in de woonkamer en bij 17% in de slaapkamer.

Op basis van de huidige eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming door rookmelders moet ten minste een rookmelder in de gang/hal en op de overloop aanwezig zijn. Dit betekent dat in Purmerend gemiddeld in 61% van de woningen een werkende en op de juiste plaats gemonteerde rookmelder aanwezig is.

In Amersfoort (Brandweer Amersfoort 2007; Brandweer Amersfoort 2008; Van de Burgwal, 2014) blijkt dat in 37% van 5194 geïnspecteerde woningen een rookmelder aanwezig is, maar dat in ruim twee derde van deze woningen de rookmelders (volgens de huidige eisen en adviezen) niet goed geplaatst zijn en/of het helemaal niet doen (zie figuur 4). In de categorie 'niet goed geplaatst' vallen ook de woningen waar te weinig rookmelders aanwezig zijn, bijvoorbeeld wel op de overloop boven, maar niet in de hal beneden.



Figuur 4: Aanwezigheid rookmelders in geïnspecteerde woningen in Amersfoort voor het bezoek van de brandweer

Van alle onderzochte huizen in Amersfoort beschikte slechts 19% over goed werkende rookmelders en 12% over goed werkende en juist geplaatste rookmelders<sup>31</sup>. In de stadskern was het minste aantal woningen (6%) voorzien van goed werkende en geplaatste rookmelders.

<sup>31</sup> Dat betekent dat 63% van de 19% werkende rookmelders op de (volgens het Bouwbesluit) juiste plek is opgehangen.



In tabel 7 is een overzicht te vinden van hoe het in de verschillende onderzoeken gesteld is met je werking en juiste locatie van rookmelder(s). Op basis van het relatief gemiddelde (rel. gem.) resultaat van drie studies blijkt dat in 24% van de woningen een werkende rookmelder aanwezig is die op de juiste plaats is geïnstalleerd, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor een minimale bescherming: 66% van de aanwezige rookmelders werkt<sup>32</sup> en 74% van de werkende rookmelders is op de juiste plaats geïnstalleerd.

Het aantal goed werkende en in de juiste ruimte geplaatste rookmelders is in Amersfoort veel lager dan de 61% goed werkende en juist geplaatste rookmelders die in 2011 in Purmerend (N=1286) zijn aangetroffen (TBI Purmerend, 2011) en de 63% werkende en op de juiste plek geïnstalleerde rookmelders die in 2013 in Peize (N=313) zijn aangetroffen (Vellinga, 2013). Hierbij moet worden opgemerkt dat de percentages in Purmerend en Peize mogelijk te optimistisch zijn, aangezien deze afkomstig zijn uit een bewonersenquête. Aangezien in Amersfoort 5194 (62%) van de 8419 woningen<sup>33</sup> in de betrokken wijken door deskundigen op gebied van brandveiligheid zijn geïnspecteerd, kunnen de cijfers uit Amersfoort als zeer betrouwbaar aangemerkt worden. De cijfers geven daarentegen een verouderd beeld, namelijk van de situatie tot 2010 en voordat een rookmeldercampagne is uitgevoerd.

Tabel 7: Locatie van rookmelders

Kenmerken rookmelder	Peize (N=313) <sup>34</sup>	Purmerend (N=1286)	Amersfoort (N=5194)	Totaal (rel. gem.)
Aanwezig	Onbekend	78%	37%	<b>45%</b>
waarvan werkend		(x 93%)	(x 51%)	<b>(x 66%)</b>
Aanwezig en werkend	74%	73%	19%	<b>32%</b>
waarvan op juiste plek is geïnstalleerd	(x 85%)	(x 84%)	(x 63%)	<b>(x 74%)</b>
Werkend en op juiste plek	63%	61%	12%	<b>24%</b>

Op basis van het relatieve gemiddelde kan gesteld worden dat de rookmelders in ongeveer twee derde (66%) van de woningen met rookmelders het daadwerkelijk doen. In ongeveer de helft ( $74\% \times 66\% = 49\%$ ) van de woningen met rookmelders zijn de werkende rookmelders op de juiste plekken geïnstalleerd.

Ook in de Verenigde Staten blijkt dat veel woningen met een rookmelder niet volledig beschermd zijn. De National Fire Protection Association (NFPA) geeft richtlijnen over de hoeveelheid en plaats van rookmelders. Zo moet minimaal op elke verdieping en bij elk slaapplek een rookmelder aanwezig zijn. Onderzoek van Peek-Asa, Allareddy, Yan, Taylor, Lundell en Zwerling (2005) onder 691 woningen in Iowa, toont aan dat slechts 22% (154 woningen) volledig beschermd is volgens de NFPA richtlijnen. In 86% van de woningen is een rookmelder geïnstalleerd en in 72% is sprake van tenminste één werkende rookmelder. Van de 594 huizen met rookmelder was in 339 huizen (57%) deze niet correct geïnstalleerd. De belangrijkste reden hiervoor was het ontbreken van een rookmelder op elke verdieping (85%) en dan met name de kelder.

<sup>32</sup> Dit komt ongeveer overeen met de gegevens uit het onderzoek van Van de Berg e.a. (2009). Daarin is gesteld dat 65% van de rookmelders met batterijen na 15 maanden nog werken.

<sup>33</sup> Studentenwoningen en verzorgingshuizen zijn niet bezocht. Deze vallen namelijk onder de gebruiksvergunning en hebben daarom al rookmelders en krijgen periodiek brandveiligheidscontroles.

<sup>34</sup> Van de respondenten met een werkende rookmelder (73,5%) heeft 86,1% een rookmelder in de gang en/of overlopen of trapgat, 31,6% in de woonkamer en/of slaapkamers en 25,7% in de keuken.



Het functioneren van rookmelders is ook onderzocht bij fatale woningbranden. In Noorwegen kwamen in de periode 1997 tot en met 2003 in totaal 420 mensen om het leven bij woningbranden. In 25% van de woningen was een werkende rookmelder geïnstalleerd, 21% had geen of geen werkende rookmelder en over 38% was er geen informatie beschikbaar (Pedersen & Steen-Hansen, 2005). In Nieuw Zeeland blijkt dat in bijna 30% van de fatale woningbranden een rookmelder aanwezig was. In slechts 16,5 % van de branden was een rookmelder geïnstalleerd die het daadwerkelijk deed (Miller, 2005).

In de periode van 2000 tot en met 2004 kwamen er in de Verenigde Staten gemiddeld 1020 personen per jaar om het leven bij woningbranden met werkende rookmelders. Het blijkt dat deze slachtoffers, in vergelijking met slachtoffers van fatale branden zonder rookmelder, zich vaker in de ruimte bevonden waar de brand was ontstaan en waarschijnlijk al snel ernstig gewond zijn geraakt. Het is minder waarschijnlijk dat zij lagen te slapen en aannemelijker dat zij probeerden zelf de brand te blussen of waren verminderd mobiel en in staat om te vluchten. Verder blijken zij in vergelijking met slachtoffers zonder werkende rookmelder, vaker ouder dan 65 jaar te zijn (Ahrens, 2008).

Greenstreet (2009; in: Akker, Tieben, Bos & Van der Veen, 2010) heeft onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van werkende rookmelders en het effect van de rookmelders op het aantal dodelijke slachtoffers bij woningbrand in Engeland in de periode 1981 tot 2006. De studie is uitgevoerd in het kader van de regelgeving omtrent brandbaar meubilair en maakt dan ook een onderscheid naar branden ontstaan in meubilair en andere brandbare inventaris, zoals matrassen en overige branden. De conclusie is dat de aanwezigheid van een werkende rookmelder weinig effect heeft bij branden die ontstaan in het meubilair, omdat ze vaak door de bewoner zelf worden veroorzaakt (door bijvoorbeeld roken) en ook vaak door de bewoner zelf wordt ontdekt. Voor deze categorie woningbranden kan het aantal dodelijke slachtoffers met 3,3% verminderd worden wanneer een werkende rookmelder wordt geplaatst. Anders ligt dat bij de overige branden. Volgens dit Engelse onderzoek ligt de effectiviteit hier op 17%. Hierbij kan worden aangetekend dat veel van de branden die door bewoners zelf worden ontdekt waarschijnlijk kleine brandjes zijn, met een kleiner risico op dodelijke slachtoffers. Rookmelders doen hun werk op momenten, bijvoorbeeld 's nachts, dat de kans op een dodelijke afloop van woningbrand waarschijnlijk groter is. Dit vertekent de berekende effectiviteit van de rookmelder volgens de methode van Greenstreet (2009).

### 3.2.3 Hinderlijke activering

Rookmelders gaan niet alleen af bij daadwerkelijke brand of rookverspreiding, maar ook door andere oorzaken. Het in alarm gaan van een rookmelder zonder dat er daadwerkelijk sprake is van rook of brand wordt hinderlijke activering genoemd. De NFPA heeft een set van mogelijkheden gedefinieerd voor detectie en alarmeringen door rookmelders (Ahrens, 2011b), zie figuur 5.



Figuur 5: Detectie en alarmeringen door rookmelders (Ahrens, 2011b)

De alarmeringen zijn in de figuur gekoppeld aan de noodzaak van een brandweerinzet. Wanneer een rookmelder wordt geactiveerd door een storing of door normale activiteiten, zoals bijvoorbeeld door stoomvorming als gevolg van koken, dan is er geen sprake van gevaar en is een brandweerinzet niet nodig. Er is dan sprake van een hinderlijke activering.

Ook is een brandweerinzet niet nodig als de rookmelder in de voorfase van brand wordt geactiveerd, bijvoorbeeld door lichte rook, maar de situatie hanteerbaar is voor de aanwezigen. In dat geval is sprake van een nuttige waarschuwing door de rookmelder. Dit geldt ook wanneer de rookmelder is geactiveerd door een beginnende brand die voor aanwezigen mogelijk nog hanteerbaar is. Een brandweerinzet kan in dat geval ook nodig zijn. Wanneer sprake is van activering op moment van een ernstigere brandfase, wanneer het voor aanwezigen nodig is om te vluchten, dan is een brandweerinzet beslist nodig. In dat geval is sprake van een nuttige, maar late alarmering.

Hinderlijke activering door normale activiteiten, het tweede blokje in figuur 5, is voor bewoners de belangrijkste reden om rookmelders onbruikbaar te maken (Dinaburg & Gottuk, 2014). In de Verenigde Staten (Ahrens, 2011a) blijkt bijvoorbeeld dat bij 24% van de slachtoffers van fatale woningbranden een rookmelder wel aanwezig was, maar niet functioneerde<sup>35</sup>. In de helft van de gevallen (dat is bij 12% van de slachtoffers van fatale woningbranden) functioneerde de rookmelder niet omdat de batterij eruit was gehaald of niet goed was aangesloten. Om te voorkomen dat rookmelders onbruikbaar worden gemaakt, is het zinvol om te weten welke normaal voorkomende stoffen of activiteiten het vaakst hinderlijke activering veroorzaken bij normaal functionerende rookmelders.

Waterdamp (stoom) als gevolg van douchen, stof als gevolg van schoonmaken of (lichte) verbouwingsactiviteiten, sigarettenrook, brandende kaarsen of wierook en zelfs insecten, met name kleine muggen, zijn andere oorzaken van hinderlijke activering van rookmelders in woningen. Hoewel een rookmelder direct door stof (als gevolg van een activiteit) kan afgaan, komt het vaker voor dat een rookmelder als gevolg van stofophoping gevoeliger wordt. Daardoor zal een rookmelder eerder reageren op de overige genoemde triggers voor hinderlijke activering van rookmelders. Met name optische rookmelders zijn hier erg gevoelig voor. Dergelijke rookmelders moeten daarom bij voorkeur niet nabij ventilatieopeningen en airconditioningunits geïnstalleerd worden. Verder blijkt ook sigarettenrook vaak niet direct te leiden tot het afgaan van een rookmelder, maar op langere termijn kan een rookmelder als gevolg van (veel) sigarettenrook in een ruimte wel gevoeliger worden.

Dinaburg en Gottuk (2014) stellen op basis van verschillende studies dat 60-80 procent van de hinderlijke activering van rookmelders wordt veroorzaakt door koken. Ook op basis van een onderzoek naar de aanwezigheid en functioneren van rookmelders met lithium batterijen (Wilson, Akoto, Dixon & Jacobs, 2008), kan gesteld worden dat koken een belangrijke veroorzaker is van hinderlijke activering van rookmelders. Uit het onderzoek blijkt namelijk dat rookmelders in keukens vaker onbruikbaar worden gemaakt dan rookmelders op andere locaties. Tien jaar na de installatie van de rookmelders deed 70% van de rookmelders in de keuken het niet meer, terwijl 45% van de rookmelders op andere locaties het niet meer deed. In totaal was 8 tot 10 jaar na de installatie van de rookmelders slechts 53% van de rookmelders nog aanwezig en werkend.

Uit statistieken uit de Verenigde Staten blijkt dat bij 54% van de branden waarbij een rookmelder aanwezig is maar niet werkte, een ontbrekende of losgekoppelde batterij de oorzaak voor het niet functioneren is. Het ongewenst afgaan van de melder, bijvoorbeeld tijdens het koken of roken, is de belangrijkste reden voor het loskoppelen van de batterij. In 19% is een lege batterij de oorzaak voor het niet werken van de rookmelder (Ahrens, 2007). In Nederland wordt dergelijke gedetailleerde informatie niet in de jaarlijkse statistieken van CBS, en ook niet in de database van Brandweer Nederland, meegenomen.

---

<sup>35</sup> Bij 38% van de slachtoffers was geen rookmelder aanwezig.

### 3.2.4 Detectie en brand- en rookontwikkeling in eerdere brandtesten

Er is in de wetenschappelijke literatuur informatie gevonden over eerdere brandtesten naar detectie en brand- en rookontwikkeling. Vanwege de relevantie voor het praktijkonderzoek dat in het kader van het voorliggende onderzoek is uitgevoerd, wordt de wetenschappelijke literatuur uitgebreid beschreven.

Guillaume, Didieux, Thiry en Bellivier (2014) hebben drie brandtesten uitgevoerd in een volledig ingerichte slaapkamer van 3 x 3 x 2,4 meter (l x b x h) met PVC wandbekleding en met een rookmelder aan het plafond.

Gedurende de testen zijn metingen uitgevoerd om de beschikbare vluchttijd te bepalen op basis van de Fractional Effective Dose (FED) en Fractional Effective Concentration (FEC) methoden zoals die zijn vastgelegd in ISO 13571 (2012). Voor het bepalen van het effect van verstikkende gassen (FED<sub>tox</sub>) is de uitstoot van koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en waterstofcyanide (HCN) gemeten, voor het effect van irriterende gassen (FEC) is de uitstoot van waterstofchloride (HCl) en NO gemeten en voor het effect van hitte (FED<sub>hitte</sub>) is de temperatuur (convectie) en de straling gemeten. De onzekerheidsmarge voor FED<sub>tox</sub> is ± 35%, voor FEC ± 50% en voor FED<sub>hitte</sub> ± 25%. Verder is het zuurstofpercentage (O<sub>2</sub>) en de zichtlengte gemeten.

De opzet en resultaten zijn verwerkt in tabel 8.

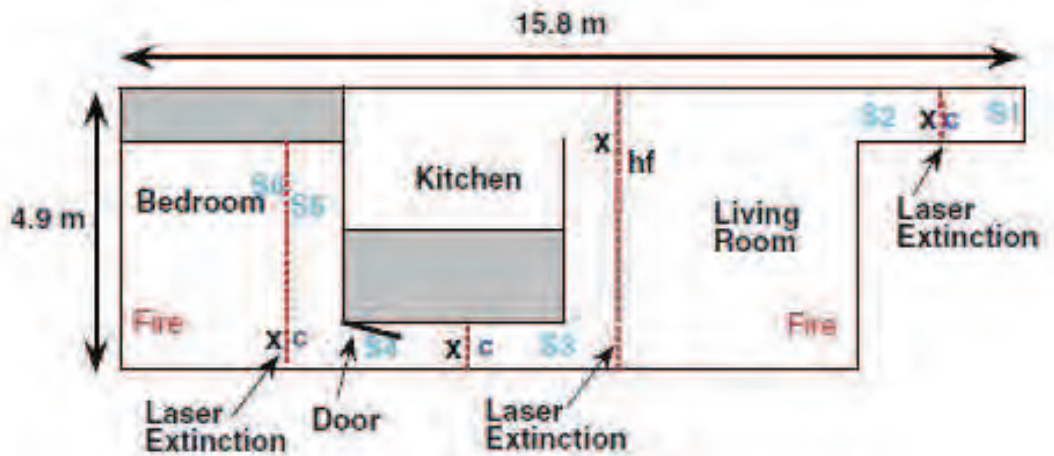
Tabel 8. Branden en resultaten Guillaume e.a. (2014)

Test	Vuurhaard	Ventilatiepatroon	Rookmelder in alarm	Resultaten (maximale waarden)
1	Vuurkorf op het bed	Ramen en deuren dicht	2 min. 10 sec. (slaapkamer) 4 minuten (gang)	NO: 160 ppm CO <sub>2</sub> : 40.000 ppm CO: 4000 ppm HCN: 48 ppm O <sub>2</sub> (minimum) : 16% FED <sub>tox</sub> 0,3: 9 min. FED <sub>tox</sub> 1: 15 min. FED <sub>tox</sub> 3: einde test  FEC 0,3: 3 min.
2	Sigaret met proppen papier in prullenbak	Ramen dicht, deur na 2,5 min. geopend	6 min. 43 sec. (slaapkamer) 7 min. 27 sec. (gang)	FED <sub>tox</sub> bij einde test: 0,12
3	Twee branden met proppen papier, aangestoken met aansteker	Ramen dicht, deur na 2,5 min. geopend	2 min. 1 sec. (slaapkamer) 3 min. 31 sec. (gang)	Temperatuur slaapkamer 200 °C. Na 6 min. en 15 sec. flashover. Na 4 min. 20 sec. FED <sub>hitte</sub> 0,3 Na 4 minuten en 45 sec FED <sub>hitte</sub> 1 Einde test FED <sub>hitte</sub> 3 NO na 6 min: 140 ppm HCN na 4,5 min: 28 ppm CO na 4,5 min: 37.000 ppm <sup>36</sup>

<sup>36</sup> In oorspronkelijke bron zijn de waarden weergegeven in µl/L.

Uit het experiment blijkt dat bij de aanwezigheid van rookmelders in de brandruimte (in het onderzoek de slaapkamer) en veelal ook in de verkeersruimte het alarm eerder af gaat dan dat de kritische waarden worden bereikt om te kunnen vluchten en overleven.

NIST heeft experimenten uitgevoerd in nagebootste appartementen (Cleary, 2014). Met een stoel als brandhaard werden in aparte experimenten zowel een smeulhaard als een vlammenbrand geïnitieerd. Er werden rookmelders opgehangen om de gevoeligheid voor alarmering te bepalen. In onderstaande plattegrond is de onderzoeksopzet weergegeven, waarbij X een thermokoppel aangeeft en S1 tot en met S6 de aanwezige rookmelders. Ook werd er stroming gemeten (bij hf) en gasmetingen gedaan (bij c).



Figuur 6: Opzet van het experiment (Cleary, 2014)

Tijdens het experiment is er gekeken naar de ontvlambaarheid van het weefsel, de dichtheid van polyurethaanschuim, de brandlocatie (woonkamer of slaapkamer), ventilatie (slaapkamerdeur open of gesloten) en het ontstekingsscenario (brandend of smeulend). Hierbij is de activeringstijd van verschillende rookmelders geregistreerd. Tijdens de experimenten werd waargenomen dat alle vijf factoren van invloed zijn op de gemeten wektijden. De wijze van ontsteking had een significant effect. Bij smeulbranden ging de rookmelder een factor 10 tot 25 later in alarm dan bij vlammenbranden. Ook de dichtheid van het polyurethaanschuim had effect op de alarmtijd van de rookmelder. Deze waren sneller bij een lage dichtheid van het schuim. De stof van de kussens van de stoel hadden ook effect. Bij een polyesterbekleding ging de rookmelder eerder af dan bij katoenen bekleding. In de woonkamer ging de rookmelder 40 tot 200% later af dan in de slaapkamer (afhankelijk van het alarm). Dit had onder andere te maken met rookverplaatsing en -verduunning. Het openlaten van de deur van de slaapkamer had tot gevolg dat de rookmelder in de slaapkamer later afging. De optische rookmelder reageerde over het algemeen sneller dan de ionisatiemelder bij de smeulbranden. Bij de vlammenbranden reageerde de ionisatiemelder sneller. Ionisatiemelders mogen in Nederland sinds 2006 niet meer verkocht worden vanwege de schadelijkheid voor het milieu door de radioactieve bron in de rookmelder.

Een ander onderzoek naar rookmelders (Bukowski e.a., 2008) is onderzoek gedaan naar smeulbranden met blokken PU schuim. Men liet het blok ongeveer 15 minuten smeulen. Hierbij werd driemaal met de ventilator aan, en eenmaal met de ventilator uit getest. Meerdere optische rookmelders gingen, bij de eerste test met de ventilator uit, na respectievelijk 100, 200 en 400 seconden in alarm. Na 800 seconden ging de brand over in de vlammenfase en werd de test gestopt. Bij de tweede test stopte de brand vanzelf. Bij de test met de ventilator aan gaan alleen de rookmelders het dichtst bij de vuurhaard in alarm, de andere rookmelders niet. Uit de testen is gebleken dat de effectiviteit van de rookmelders afhangt van het type alarm (ioniserend of optisch) en de locatie ten opzichte van de brandhaard. Een

grote hoeveelheid kleine deeltjes leidt tot het eerder in alarm gaan van ionisatiemelders, terwijl bij relatief grotere deeltjes de optische melders eerder in alarm gaan. Zowel mechanische als natuurlijke ventilatie kunnen ervoor zorgen dat de stroming vanaf de vuurhaard niet leidt in de richting van de rookmelder waardoor er een vertraging optreedt in de alarmtijd.

### 3.2.5 Samenvatting

In Nederlandse woningen komen drie typen rookmelders voor, namelijk optische rookmelders, thermische melders en gecombineerde CO-/rookmelders. Veelal wordt er gekozen voor ongekoppelde optische rookmelders op batterijen. Ongekoppelde rookmelders werken los van elkaar. Er zijn daarentegen ook rookmelders die onderling gekoppeld kunnen worden, zodat alle rookmelders alarm geven als de eerste melder wordt aangesproken. Rookmelders werken op het lichtnet of op batterijen. Een belangrijk probleem bij de rookmelders op batterijen is dat de werking over de tijd niet gegarandeerd is. Uit onderzoek blijkt dat hinderlijke activering door normale activiteiten voor bewoners de belangrijkste reden is om rookmelders onbruikbaar te maken.

Op basis van meerdere studies in Nederlandse gemeenten, blijkt dat in 66% van de woningen met rookmelders, de rookmelders daadwerkelijk werken. In 49% van de woningen met rookmelders is de werkende rookmelder op de juiste plaats<sup>37</sup> geïnstalleerd, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming.

Het moment waarop de rookmelder wordt geactiveerd is afhankelijk van het type materiaal dat brandt, of het een smeul- of vlammenbrand is, de locatie van de brand en de aanwezigheid van ventilatie.

## 3.3 Alarmering

### 3.3.1 Mensfactor bij fatale woningbranden

Een rookmelder heeft als doel om de aanwezige(n) in de woning te waarschuwen in geval er brand is ontstaan. Op basis van een onderzoek onder een representatieve groep van volwassenen van 60 jaar en ouder wordt het aantal slechthorenden van 60 jaar of ouder in Nederland geschat op 1.256.000 (Smits, Kramer & Houtgast, 2006). In de Verenigde Staten heeft een derde van alle mensen van 70 jaar en ouder een vorm van gehoorbeperking (Lee, 2005). Leeftijd gerelateerde gehoorbeperking is meer significant aanwezig bij mannen dan bij vrouwen en de beperking geldt met name voor het hoogfrequentie gebied. Rond de leeftijd van 65 jaar treedt doorgaans op het frequentieniveau (toonhoogte) van 3000 Hz een gehoorverlies van 30 dB(A) op. Vergeleken met het gebruik van brillen is het gebruik van gehoortoestellen door ouderen beperkt (CDC, 2001). Meer dan 98% van de ouderen met visuele beperkingen draagt een bril, terwijl slechts 34% van de ouderen met gehoorbeperkingen een hoortoestel draagt. De ouderen die wel een hoortoestel dragen, zullen deze 's nachts over het algemeen niet dragen. Doordat maar weinig slechthorende ouderen overdag een hoortoestel dragen en 's nachts bijna geen enkele slechthorende oudere een hoortoestel draagt, zullen zij in lang niet alle gevallen in staat zijn het geluid van een rookmelder te horen.

Uit een analyse van fatale woningbranden in de periode van 2008 tot en met 2012 (Groenewegen e.a., 2013) blijkt dat iets meer dan de helft<sup>38</sup> van de slachtoffers (vermoedelijk) in slaap was op het moment van de brand. Deze personen zijn niet alleen slapend aanwezig in

<sup>37</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.

<sup>38</sup> N=81, 52% van de slachtoffers voor wie dit gegeven bekend is, cumulatief.



de slaapkamer, maar ook bijvoorbeeld in de woonkamer. Een woonkamer is in de regelgeving een zogenaamde niet-bedruimte, waardoor hier een lager geluidsniveau vereist is (65 dB(A)) ten opzichte van een ruimte zoals de slaapkamer (75 dB(A)).

Voor deze slachtoffers worden met name een late ontdekking van de brand<sup>39</sup> en een snelle brandontwikkeling<sup>40</sup> genoemd als de belangrijkste factoren die de fataliteit van de brand bepaald hebben<sup>41</sup>. Het moment van ontdekken van de brand zou verkort kunnen worden door een rookmelder, mits de aanwezigen wakker worden van het alarmsignaal. Daarna moeten zij wel zelfstandig uit de woning kunnen vluchten. Dit is echter niet altijd mogelijk. Bij slachtoffers die ten tijde van de fatale woningbrand (vermoedelijk) wakker<sup>42</sup> waren, worden met name een snelle brandontwikkeling<sup>43</sup> en een beperkte mobiliteit<sup>44</sup> genoemd als de belangrijkste factoren voor fataliteit. Een rookmelder zou in deze gevallen in staat moeten zijn de aanwezigen sneller na het ontstaan van de brand te waarschuwen of, wanneer zelfstandig vluchten niet (meer) lukt, om de hulpdiensten te alarmeren en/of derden te waarschuwen. In het laatste geval kan de locatie en geluidsreductie van de rookmelder van belang zijn.

### 3.3.2 Ontwaken in geval van brand

In geval van brand is de kans klein dat mensen ontwaken door een brandlucht of door de flikkering van vlammen (Brennan & Bruck, 2001). Uit praktijkonderzoek met een geursignaal, onder 17 jongvolwassenen die zich in de tweede slaapfase<sup>45</sup> bevinden, blijkt dat 59% van de testpersonen wakker wordt door een brandlucht. In een tweede praktijkonderzoek, onder 33 oudere volwassenen die zich eveneens in de tweede slaapfase bevinden, is ongeveer de helft (49%) wakker geworden van een flikkerend lichtsignaal. Geluid blijkt een betere trigger te zijn voor het ontwaken in geval van brand. Het merendeel van de testpersonen in het tweede praktijkonderzoek is wakker geworden in twee testen met een geluidsignaal (83% en 91%). Er zijn meerdere factoren die bepalen of een slapend persoon wakker wordt van geluid (Lee, 2005), zoals de sterkte (volume) en de frequentie (toonhoogte) van het geluid, de akoestiek en het achtergrondgeluid in de slaapkamer, de fase van slaap waarin de persoon zich bevindt, de mate van vermoeidheid of slaapachterstand, of de persoon erop gericht is om wakker te worden van een alarm, het gebruik van medicijnen, alcohol of drugs en de mate van gehoorbeperking.

Behalve slechthorende ouderen blijken meer mensen kwetsbaar als het gaat om het wakker worden van het alarm van een rookmelder. Uit meerdere studies blijkt dat de gangbare rookmelders nauwelijks in staat zijn om kinderen, mensen onder invloed van alcohol en diep slapende mensen te wekken. In tabel 9 is een samenvatting gegeven van die studies. Het in de tabel aangegeven volume (dB(A)) is gemeten ter plaatse van het kussen van de slapende testpersoon. Verder is een onderscheid in geteste geluidsfrequentie (Hz) gemeten, te weten de gangbare 3100 Hz hoogfrequentie en de (alternatieve) 520 Hz blokgolf laagfrequentie.

<sup>39</sup> N=25, 31% van de slachtoffers die (vermoedelijk) sliepen, cumulatief.

<sup>40</sup> N=16, 20% van de slachtoffers die (vermoedelijk) sliepen, cumulatief.

<sup>41</sup> In de onderzoeken naar de fatale woningbranden in is de respondenten een open vraag gesteld naar de factor (of factoren) die, *naar mening van de respondent*, het meest van invloed is (of zijn) geweest op de fataliteit van de brand. Deze gegevens zijn niet nader onderzocht.

<sup>42</sup> N=76, 48% van de slachtoffers voor wie dit gegeven bekend is, cumulatief.

<sup>43</sup> N=13, 17% van de slachtoffers die (vermoedelijk) wakker waren, cumulatief.

<sup>44</sup> N=25, 33% van de slachtoffers die (vermoedelijk) wakker waren, cumulatief.

<sup>45</sup> Dit is de fase waarin mensen zich tijdens de slaap het langst bevinden. In deze fase is men nog niet in een diepe slaap, maar de wekdrempel is wel verhoogd.

Tabel 9: Overzicht van resultaten uit verschillende studies naar het ontwakken van slapende personen in reactie op een rookmelder (gebaseerd op Bruck & Thomas, 2008a)

Testpersonen	Referentie	Volume (dB(A))	Percentage <u>niet</u> gewekt door alarm		Ratio*
			Gangbare 3100 Hz	520 Hz blokgolf	
Kinderen 6-10 jaar (n=20;28)	Bruck & Bliss, 2000	89	43%	3,5%	12:1
Kinderen 6-10 jaar, del-taslaap (n=24)	Smith e.a., 2006	100	42%	-	-
Kinderen 6-15 jaar	Bruck, 1999	60	94%	-	-
Jongvolwassenen, del-taslaap (n=14)	Ball & Bruck, 2004	75	43%	7%	6:1
Jongvolwassenen, met bloedalcoholgehalte van 0,05% (n=32)	Bruck e.a., 2007	75	38,5%	0%	n/a
Jongvolwassenen, so-ber (n=24)	Bruck & Thomas, 2008a	75	21%	0%	n/a
Ouderen > 65 jaar (n=42)	Bruck & Thomas, 2006; Bruck & Thomas, 2008b	75	18%	4,5%	4:1
Slechthorende volwas-senen (n=38)	Bruck & Thomas, 2007	75	56%	8%	7:1
Slechthorende volwas-senen (n=38)	Bruck & Thomas, 2007	95, 3½ minuut	15,6%	0%	n/a

\* Verhouding van personen die door een gangbaar alarm met een 3100 Hz frequentie heen sliepen versus personen die door een alarm met een 520 Hz blokgolf frequentie heen sliepen.

Op basis van de bevindingen zoals samengevat in tabel 9 kan gesteld worden dat de gangbare frequentie van 3100 Hz het minst geschikt is voor het wekken van slapende personen. Uit de testen met kinderen en de slechthorende volwassenen blijkt dat het verhogen van de geluidssterkte (volume) wel een verbetering geeft, maar dat een aanzienlijk deel van de testpersonen bij de gangbare frequentie van 3100 Hz alsnog niet wakker is geworden. Het verlagen van de frequentie (naar 520 Hz) geeft voor alle onderzochte doelgroepen een beter resultaat: bij een volume van 75 dB(A) sliep 7% van de jongvolwassenen in deltaslaap<sup>46</sup> door, 4,5% van de ouderen en 8% van de slechthorende volwassenen. Alle nuchtere jongvolwassenen en jongvolwassenen onder invloed van alcohol werden wakker.

Kinderen blijken het best gewekt te kunnen worden door de stem van hun ouders. In een studie onder kinderen (Smith, Splaingard, Hayes & Xiang, 2006) is een rookmelder met een volume van 100 dB(A) vergeleken met een 100 dB(A) alarmsignaal dat door hun moeder is ingesproken. Bij de kinderen die gewekt werden door de stem van hun moeder sliep slechts 4% door, terwijl 42% van de kinderen niet wakker werd van de rookmelder.

<sup>46</sup> Dit is de diepste fase van slaap.

### 3.3.3 Geluidsreductie rookmelders

Wanneer een rookmelder afgaat in een andere ruimte dan waar een persoon zich bevindt, zal sprake zijn van een volumereductie. In een Australische woning is bij een rookmelder met een geluidsfrequentie van ongeveer 3100 Hz en een geluidsterkte van 85 dB(A) een reductie gemeten van gemiddeld 36 dB(A) als alle deuren open zijn en gemiddeld 45 dB(A) als de deuren dicht zijn (Thomas & Bruck, 2010). Bij een rookmelder met een geluidsfrequentie van ongeveer 3100 Hz en een geluidsterkte van 105 dB(A) is de reductie in de situatie met de deuren dicht sterker, namelijk 58 dB(A). Ook naar de ondergelegen verdieping is de reductie sterker dan voor ruimten op dezelfde verdieping. Er is geen informatie aangetroffen over de geluidsreductie van binnen naar buiten de woning.

### 3.3.4 Samenvatting

Bij meer dan de helft van de fatale woningbranden was er sprake van een (vermoedelijk) slapende persoon. Deze personen zijn niet alleen slapend aanwezig in de slaapkamer, maar ook bijvoorbeeld in de woonkamer. Een woonkamer is in de regelgeving een zogenaamde niet-bedruimte, waardoor hier een lager geluidsniveau vereist is (65 dB(A)) ten opzichte van een bedruimte zoals de slaapkamer (75 dB(A)).

Late ontdekking van de brand, al dan niet in combinatie met een snelle brandontwikkeling, lijken van invloed op de beperkte mogelijkheden om te vluchten. Een rookmelder kan late ontdekking voorkomen. Uit onderzoek blijkt namelijk dat de kans klein is dat mensen ontwaaken door een brandlucht of door de flikkering van vlammen.

Of men wakker wordt van het geluid van een rookmelder, hangt af van onder andere de geluidsterkte (volume), de geluidsfrequentie (toonhoogte), achtergrondgeluid, fase van slaap, hoorvermogen, vermoeidheid en invloed van verdovende middelen.

De hoge geluidsfrequentie (toonhoogte) van het alarmsignaal dat op dit moment gangbaar is voor rookmelders (3100 Hz), wordt zeker in slapende toestand niet door iedereen gehoord. Uit experimenten blijkt dat slechthorende ouderen, kinderen, mensen onder invloed en diep slapende mensen bij de gangbare frequentie lang niet allemaal wakker worden. Uit de proeven blijkt dat dit tegengegaan kan worden door een geluid met een lagere frequentie te gebruiken.

Verder blijkt uit onderzoek dat gesloten deuren tussen de locatie van de rookmelder die in alarm is gegaan en de verblijfsruimte, de geluidsterkte van de in alarm zijnde rookmelder beperkt.

## 3.4 Vluchten en overleefbaarheid

In de literatuur worden voor het veilig vluchten bij brand en het overleven van brand in basis vier gevaarselementen genoemd, te weten:

1. Het effect van beperkt zicht, dat effect heeft op de ontvluchting, maar niet op de overleefbaarheid.
2. Het effect van hitte, onderverdeeld in het effect van convectie (omgevingstemperatuur), het effect van straling en een te hoge kerntemperatuur.
3. Het verstikkende effect, als gevolg van bijvoorbeeld te veel koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), waterstofcyanide (HCN) en een gebrek aan zuurstof (O<sub>2</sub>).
4. Het effect van irriterende stoffen, zoals stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), waterstofchloride (HCl), waterstofbromide (HBr), waterstoffluoride (HF), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), acroleïne (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O) en formaldehyde (CH<sub>2</sub>O).

Hierna worden de vier gevaarselementen nader besproken.

### 3.4.1 Visuele hinder ten gevolge van rook

Doordat rook in een ruimte steeds dichter wordt, neemt voor de aanwezigen de mogelijkheid af om zich te oriënteren. Bij een bepaalde rookdichtheid kunnen mensen deuren, muren en dergelijke niet meer onderscheiden en raken ze zelfs in een bekende omgeving gedesoriënteerd. Rookdichtheid is een belangrijke factor die vluchthinder veroorzaakt. De vluchtsnelheid neemt verder af als de rook irriterende stoffen bevat (Jin & Yamada, 1985).

### 3.4.2 Blootstelling aan hitte

Hitte uit zich in twee vormen: convectie (luchttemperatuur) en stralingshitte.

Mensen die zich in hete lucht of rook bevinden kunnen door drie mechanismen letsel oplopen:

- > huidverbranding
- > longverbranding
- > een te hoge kerntemperatuur.

In de jaren '60 en '80 van de vorige eeuw hebben verschillende onderzoekers (Simms & Hinkley, 1963; Veghte, 1982; Eneil, 1968) experimenten uitgevoerd waarin mensen zijn blootgesteld aan droge hitte met temperaturen die oplopen van 110 °C tot 180 °C. Het doel van de experimenten is om de tolerantie van convectiehitte te bepalen. Uit de onderzoeken blijkt bijvoorbeeld dat mensen maximaal minuten kunnen verblijven in een omgevingstemperatuur van 150 °C. Zie ook tabel 10.

Tabel 10: Tolerantie van convectiehitte

Temperatuur (°C)	Maximale verblijfsduur
200	2 minuten
150	5 minuten
120	7 minuten
110	10 minuten
100	15 minuten
90	Langer dan 30 minuten

Bij een temperatuur tot ongeveer 120 °C wordt de blootstellingsduur met name beperkt vanwege het oplopen van de kerntemperatuur. Boven de 120 °C wordt de blootstellingsduur met name vanwege huidverbranding beperkt (Purser, 2002).

De tolerantie van hitte kan voor een groot deel toegeschreven worden aan de menselijke capaciteit om zichzelf te koelen door te zweten (Kenney, DeGroot & Holowatz, 2004). Dit betekent ook dat hoe vochtiger de omgevingslucht is, hoe minder men in staat is om zichzelf te koelen. Er is echter maar weinig informatie bekend over de hittetolerantie in vochtige omgevingscondities, aangezien de testen die gedaan zijn met mensen, zijn uitgevoerd in omgevingscondities tot 45 °C.

Zelfs zonder direct contact met vlammen of hete rook, kan als gevolg van stralingshitte in de huid pijn gevoeld worden of kunnen brandwonden ontstaan. In de jaren '50 tot begin jaren '80 van de vorige eeuw zijn verschillende brandtesten uitgevoerd (Simms & Hinkley, 1963; Veghte, 1982; Kaplan e.a., 1985; Buettner, 1951) om de tolerantie ten opzichte van stralingshitte te onderzoeken, met blootstellingswaarden variërend van 2,4 kW/m<sup>2</sup> tot 23,5 kW/m<sup>2</sup>. De resultaten zijn samengevat in tabel 11.

Tabel 11: Tolerantie van stralingshitte

Stralingsniveau (kW/m <sup>2</sup> )	Maximale verblijfsduur
15	2 seconden
8	5 seconden
6	7 seconden
2,5	Langer dan 30 seconden

Bij een vluchtperiode van 100 seconden en een stralingsniveau van 6 kW/m<sup>2</sup> zal circa de helft van de bevolking omkomen.

### 3.4.3 Verstikkende rookgassen en gebrek aan zuurstof

Verstikkende of asfyxiërende stoffen zijn stoffen die, als ze worden ingeademd, geen luchtweg- of longbeschadiging teweegbrengen. Deze stoffen worden echter door het lichaam geabsorbeerd, waarna zij elders in het lichaam hun effecten uitoefenen (Meulenbelt, De Vries & Joore, 1996). De meest relevante asfyxiërende stoffen bij een brand zijn koolstofmonoxide en waterstofcyanide. Beide stoffen interfereren met de zuurstofvoorziening in het lichaam, wat resulteert in een depressie van het centraal zenuwstelsel met bewustzijnsverlies en uiteindelijk de dood. Het effect van asfyxiërende stoffen wordt door de geaccumuleerde dosis in het lichaam bepaald (Hazebroek e.a., 2015).

In tabel 12 zijn de lichamelijke effecten van blootstelling aan koolstofmonoxide (CO) weergegeven bij verschillende concentraties. Het is belangrijk te beseffen dat het bij een koolstofmonoxidevergiftiging gaat om de dosis die iemand heeft ingeademd en niet louter om de concentratie waaraan men is blootgesteld.

Tabel 12. Effecten CO bij verschillende concentraties (bron: <http://www.antigifcentrum.be/co-vergiftiging/co-wettenschappelijk-bekeken/wat-zijn-toxische-gehalten-aan-co>)

CO (ppm)	% CO in lucht	Symptomen
200	0,02	Hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, vermoeidheid.
400	0,04	Intense hoofdpijn. Levensgevaar na 3 u.
800	0,08	Hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid. Na 45 minuten bewustzijnsverlies. Na 2 - 3 uur overlijden.
1600	0,16	Ernstige symptomen na 20 minuten, overlijden binnen het uur.
3200	0,32	Hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid na 5 minuten, bewustzijnsverlies na 30 minuten.
6400	0,64	Hoofdpijn en duizeligheid na 1 - 2 minuten. Bewusteloos na 10 - 15 minuten.
12800	1,28	Onmiddellijk bewustzijnsverlies, overlijden binnen 1 tot 3 minuten.



In de literatuur wordt vaak aangenomen dat een koolstofmonoxide-concentratie van 12.800 ppm (Struttmann, Scheerer, Prince & Goldstein, 1998) tot sterfte leidt binnen drie minuten. Brown en Cheng (2000) hanteren een grenswaarde van 8.000 ppm voor een acuut effect.

Naast koolstofmonoxide (CO) is waterstofcyanide (HCN) een belangrijk gas binnen de categorie asfyxiërende stoffen die bij brand vrij kunnen komen. Het werkingsmechanisme van HCN is weliswaar anders dan van koolstofmonoxide, maar de fysiologische effecten komen sterk overeen. HCN is ongeveer 25 keer toxischer dan koolstofmonoxide. HCN kan onder andere vrij komen bij een (onvolledige) verbranding van schuimrubber in matrassen en meubilair.

Op basis van ISO 13571 *Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data* (ISO, 2012) kan de dosis van asfyxiërende stoffen worden bepaald. De 'Fractional Effective Dose (FED tox)' houdt rekening met zowel de aanwezigheid van koolstofmonoxide als van waterstofcyanide. Zie ook bijlage 2.

Naast verstikkende stoffen kan ook een gebrek aan zuurstof leiden tot gezondheidseffecten. Bij afname van het percentage zuurstof doen zich verschillende symptomen voor, waarbij de ernst oploopt naarmate het percentage zuurstof in de lucht daalt. In tabel 13 zijn de zuurstofniveaus van de omgeving en de gezondheidseffecten weergegeven.

Tabel 13: Percentage zuurstof en gezondheidseffecten (Lipsett, Shusterman & Beard, 1994)

Zuurstof %	Gezondheidseffecten
12-16	Ademhaling en hartfrequentie zijn verhoogd. Coördinatie van de spieren is licht verminderd.
10-14	Abnormale vermoeidheid, bij uitputting verstoorde ademhaling, emotionele reacties.
6-10	Misselijkheid en braken, onvermogen om vrij te bewegen, mogelijk bewusteloosheid.
< 6	Stuiptrekkingen, naar adem snakken, ademhaling stopt na een paar minuten gevolgd door hartfalen.

### 3.4.4 Irriterende stoffen

Er kan bij irriterende stoffen<sup>47</sup> onderscheid gemaakt worden tussen verschillende verbindingen op basis van de wateroplosbaarheid.

De eerste groep bestaat over het algemeen uit stoffen die (zeer) goed in water oplossen, zoals waterstofchloride ('zoutzuur') en zwaveldioxide. Deze stoffen reageren snel met het slijmvlies van ogen, neus, keel en luchtwegen. Dit leidt bij relatief lage concentraties al tot onder andere tranende ogen, keelpijn, hoesten en een brandend gevoel achter het borstbeen. Deze effecten hebben invloed op de mogelijkheid tot vluchten, verheviggen de effecten van de visuele hinder door rook en zijn vooral afhankelijk van de concentratie waaraan men is blootgesteld.

Het tweede type irriterende stoffen, zoals NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden) dringt dieper in de longen door en veroorzaakt ontstekingsreacties, maar kunnen onder andere ook longoedeem veroorzaken. De effecten dieper in de longen zijn vooral afhankelijk van de dosis en treden bovendien wat later op (tot vele uren later). Hierdoor hebben deze stoffen niet zozeer effect op direct overlijden maar hebben vooral een effect op de gezondheid op het moment dat men al uit een brandend pand is gevlucht of bevrijd. Daarnaast leidt het inademen van roet en fijn

<sup>47</sup> Mede ontleend aan Gann, Averill, Butler, Jones & Mulholland (2001.), geciteerd in Hazebroek e.a. (2015).

stof ook tot latere gezondheidseffecten. Complicerend is verder nog dat ook in water oplosbare stoffen bij hogere concentraties, of wanneer deze verbindingen aan deeltjes zijn geadsorbeerd, diep in de longen kunnen doordringen en ernstige effecten kunnen veroorzaken.

### **3.4.5 Samenvatting**

Tijdens de ontvluchting kan een persoon worden blootgesteld aan de effecten van brand. Zoals aan beperkt zicht, blootstelling aan hitte (convectie en straling), het risico op het inademen van verstikkende en irriterende stoffen en een gebrek aan zuurstof. Een of meerdere van deze factoren kunnen ertoe leiden dat ontvluchting en/of overleving van de brand niet mogelijk is.

# 4 Case studies/databases

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd uit database- en incidentanalyses die in het kader van het onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders zijn uitgevoerd. Het hoofdstuk volgt de indeling van het vorige hoofdstuk met de resultaten uit bestaande literatuur.

## 4.1 Aanwezigheid van rookmelders

Voor de gegevens over de aanwezigheid van rookmelders (paragraaf 4.1) is de database van het WoonOnderzoek Nederland (WoON) geanalyseerd voor de vragen die betrekking hebben op rookmelders.

### 4.1.1 Rookmelderdichtheid in Nederland

In het literatuuroverzicht is al naar voren gekomen dat de gegevens over de rookmelderdichtheid in Nederland niet eenduidig zijn: in de ene evaluatie heeft 93% van de respondenten een rookmelder in huis (Assen) en in het andere 59% (Amersfoort) van de respondenten. Volgens een meting via internet is 86% van de huishoudens in Nederland voorzien van een rookmelder of combimelder. Deze variatie heeft vooral te maken met de steekproef die gekozen is, zoals verschillende wijken in een gemeente, en met de methode van onderzoek, zoals een opname door deskundigen of een internetenquête. Om representatieve informatie te genereren moet de steekproef voldoende groot zijn en moet de methode van dataverzameling voldoende betrouwbaar zijn. In het tekstkader is informatie opgenomen over de methode van onderzoek en de omvang van de steekproef van het WoonOnderzoek Nederland (WoON). Gezien de methode van onderzoek en de omvang van de steekproef is de verwachting dat de resultaten uit het onderzoek WoON het meest representatief zijn voor de situatie in Nederland.

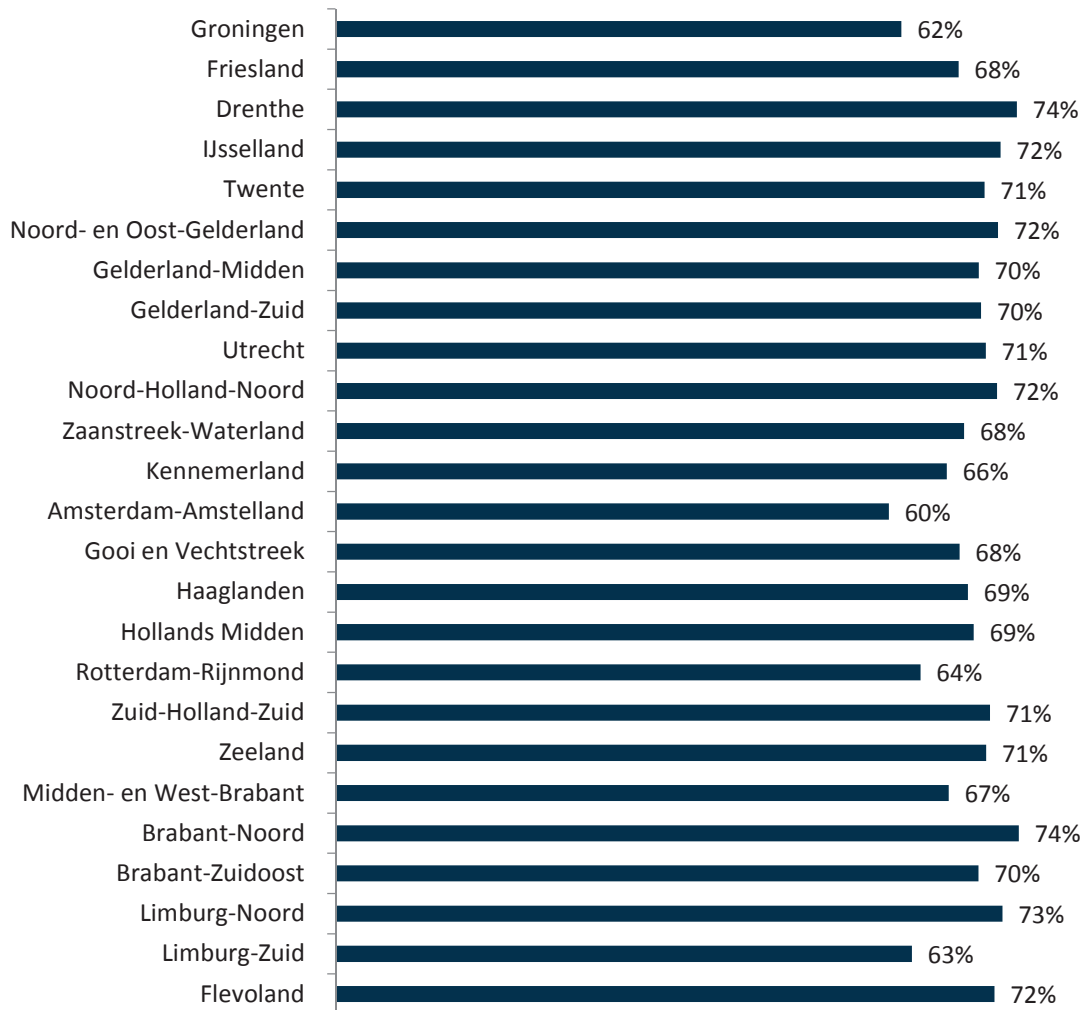
#### Onderzoek 'WoON'

Het directoraat generaal Wonen en Bouwen van het Ministerie van Binnenlandse Zaken voert elke drie jaar in samenwerking met het CBS het WoonOnderzoek Nederland (WoON) uit. Het WoON bevat gegevens over onder andere huishoudens, de huidige en gewenste woonsituatie en de tevredenheid met de woonsituatie. Daarnaast omvat het WoON ook thema's die raken aan het wonen, zoals gegevens over brandveiligheid.

In totaal zijn voor het WoON 2012 bijna 70.000 personen van 18 jaar en ouder in Nederland geïnterviewd. De steekproef vormt een dwarsdoorsnede van de bevolking. Om de gegevens van de onderzoekspopulatie te vertalen naar het totaal aantal huishoudens binnen het onderzoeksgebied (regio, gemeente, wijk), is de steekproef opgehoogd met een ophoogfactor. Deze ophoogfactor is bepaald aan de hand van het werkelijk aantal personen en huishoudens in Nederland en de betreffende gemeente. De peildatum van alle gegevens is 1 januari 2012.

Het IFV heeft de database van het WoonOnderzoek 2012 opgevraagd en geanalyseerd voor de vragen die betrekking hebben op rookmelders. In totaal hebben 60211 respondenten de vragen over rookmelders beantwoord.

Er kan gesteld worden dat in Nederland gemiddeld 69% van de huishoudens een rookmelder in hun woning heeft geïnstalleerd. Dit percentage verschilt echter per veiligheidsregio<sup>48</sup>, variërend van 60% in Amsterdam-Amstelland tot 74% in de regio's Drenthe en Brabant-Noord. In figuur 7 is de aanwezigheid van rook- of brandmelders per veiligheidsregio weergegeven.



Figuur 7: Aanwezigheid van rook- of brandmelders per veiligheidsregio (N=60211)

In paragraaf 3.2.5 is geconstateerd dat 66% van de aanwezige rookmelders werkt en 49% van de aanwezige rookmelders werkt en op de juiste plaats<sup>49</sup> is geïnstalleerd, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming. Op basis hiervan en uitgaande van de gegevens uit het onderzoek WoON mag verondersteld worden dat 46% van de woningen in Nederland is voorzien van werkende rookmelders en 34% van werkende en juist geplaatste rookmelders. In 31% van de woningen zijn geen rookmelders aanwezig<sup>50</sup>, in 23% van de woningen werken de rookmelders niet<sup>51</sup> en in 12% van de woningen hangen de rookmelders niet op de juiste plaats<sup>52</sup>.

<sup>48</sup> In de database is van de respondenten bekend in welke politieregio zij wonen. In 2012 was de indeling van politieregio's gelijk aan de indeling van veiligheidsregio's.

<sup>49</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.

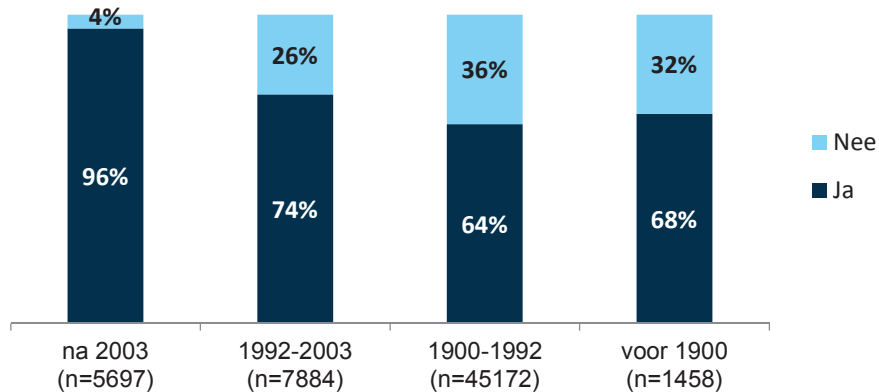
<sup>50</sup> 100% minus 69% van de huishoudens met rookmelders.

<sup>51</sup> 69% van de huishoudens met rookmelders minus 46% werkende rookmelders.

<sup>52</sup> 46% werkende rookmelders minus 34% werkende en juist geplaatste rookmelders.

### 4.1.2 Bouwjaar woning in relatie tot rookmelders

Sinds 2003 is het vanuit de bouwregelgeving (Bouwbesluit) verplicht om in nieuw te bouwen woningen rookmelders te installeren. In 1992 is het Bouwbesluit, met onder andere bouwkundige eisen voor woningen, voor het eerst in Nederland ingevoerd. Sinds 1900 is de veiligheid in woningen, in algemene termen, via de Woningwet geregeld. Van de 60211 respondenten woont 10% in een woning uit het bouwjaar 2003 of later, 13% van de respondenten woont in een woning die is gebouwd in de periode 1992-2003, 75% woont in een woning uit de periode 1900-1992 en 2% woont in een woning uit het bouwjaar 1900 of eerder.



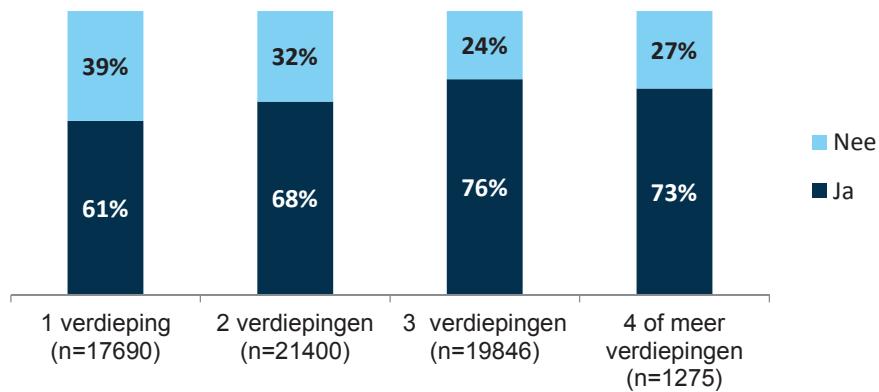
Figuur 8: Aanwezigheid rook-/brandmelder per bouwjaar woning (N=60211)

Hoewel de aanwezigheid (en het functioneren) van rookmelders in woningen uit de periode 2003 en later verplicht is, is in 4% van deze woningen geen rookmelder aanwezig (zie figuur 8). Bij de woningen uit 1992-2003 is in 26% van de woningen geen rookmelder geïnstalleerd, bij de woningen uit 1900-1992 is dit in 36% het geval en bij de woningen uit 1900 of later is in 32% van de woningen geen rookmelder aanwezig. Bij woningen van voor 1992 is het percentage aanwezige rookmelders beduidend lager (65%) dan in woningen na 1992 (83%). De percentages over de aanwezigheid van rookmelders in woningen van voor en na 1992 komen exact overeen met de gegevens uit het *Omnibusonderzoek 2011* van gemeente Alkmaar (O&S Alkmaar, 2011). In onderzoek onder consumenten blijkt dat 7% een rookmelder op het lichtnet heeft (Berg, Janssen & Tieben, 2009). Dit komt aardig in de buurt van de 9,6% respondenten uit het WoON onderzoek die woont in een van rookmelder voorziene woning met het bouwjaar 2003 of later.

### 4.1.3 Aantal rookmelders in relatie tot aantal bouwlagen

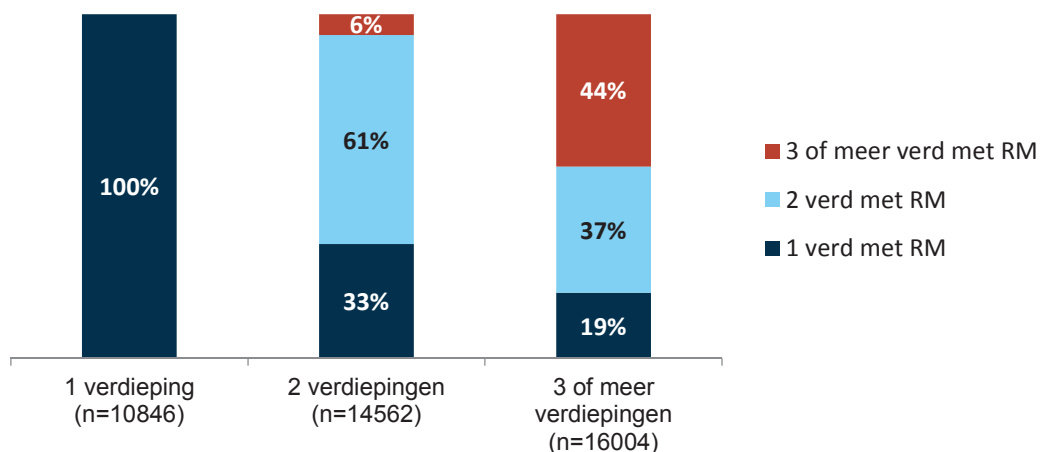
Ongeveer 29% van de respondenten woont in een woning met één bewoonbare verdieping, 36% woont in een woning met twee bewoonbare verdiepingen, 33% in een woning met drie bewoonbare verdiepingen en 2% woont in een woning met vier of meer bewoonbare verdiepingen. Het percentage bewoners dat een rookmelder heeft geïnstalleerd is het laagst bij woningen met één bewoonbare verdieping (61%), zie figuur 9.





Figuur 9: Aanwezigheid rook-/brandmelder, per woning met x-aantal bewoonbare verdiepingen (N=60211)

In figuur 10 is voor de woningen met rookmelders per woningcategorie (dat is het aantal verdiepingen dat een woning heeft) weergegeven op hoeveel verdiepingen een rookmelder is geplaatst. In de figuur zijn de woningen met vier of meer bewoonbare verdiepingen, gezien het relatief lage aantal respondenten dat in een dergelijke woning woont, buiten beschouwing gelaten.



Figuur 10: Aantal verdiepingen met een rook-/brandmelder, per woning met x-aantal bewoonbare verdiepingen (N=41412)

Van de respondenten die in een woning met twee bewoonbare verdiepingen wonen en een rookmelder in hun woning hebben geïnstalleerd, heeft 61% op beide bewoonbare verdiepingen een rookmelder, 6% heeft zowel op de bewoonbare verdiepingen als op de niet-bewoonbare verdiepingen (zoals een zolder of kelder) een rookmelder geïnstalleerd en 33% heeft slechts op één verdieping een rookmelder geïnstalleerd. Bij de respondenten die in een woning met drie bewoonbare verdiepingen wonen, ligt de verdeling anders: 44% heeft op alle drie bewoonbare verdiepingen een rookmelder geïnstalleerd, 37% heeft slechts op twee van de drie verdiepingen een rookmelder en 19% heeft slechts op één verdieping een rookmelder geïnstalleerd. Dit betekent dat in 61% van de woningen met één bewoonbare verdieping op die verdieping een rookmelder aanwezig is. Dit is ook het geval op iedere bewoonbare verdieping van 45% van de woningen met twee bewoonbare verdiepingen<sup>53</sup> en in

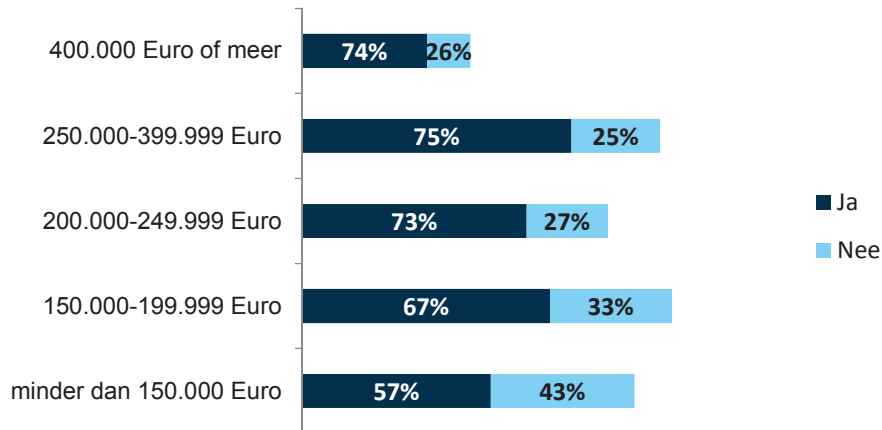
<sup>53</sup> In 13678 van de 21400 woningen met 2 bewoonbare verdiepingen is op alle bewoonbare (of meer) verdiepingen een rookmelder geïnstalleerd.

34% van alle woningen met drie of meer bewoonbare verdiepingen<sup>54</sup>. De woningen met meerdere verdiepingen vormen daarmee een risicogroep.

#### 4.1.4 WOZ-waarde woning in relatie tot rookmelders

Op basis van het WoON kan gesteld worden dat van de respondenten ongeveer:

- > 22% woont in een woning met een WOZ-waarden van minder dan €150.000
- > 24% woont in een woning met een WOZ-waarden tussen €150.000 en €199.999
- > 20% woont in een woning met een WOZ-waarden tussen €200.000 en €249.999
- > 23% woont in een woning met een WOZ-waarden tussen €250.000 en €399.999
- > 11% woont in een woning met een WOZ-waarden van €400.000 of meer.



Figuur 11: Aanwezigheid rook-/brandmelder per WOZ-waarde van woning (N=60211)

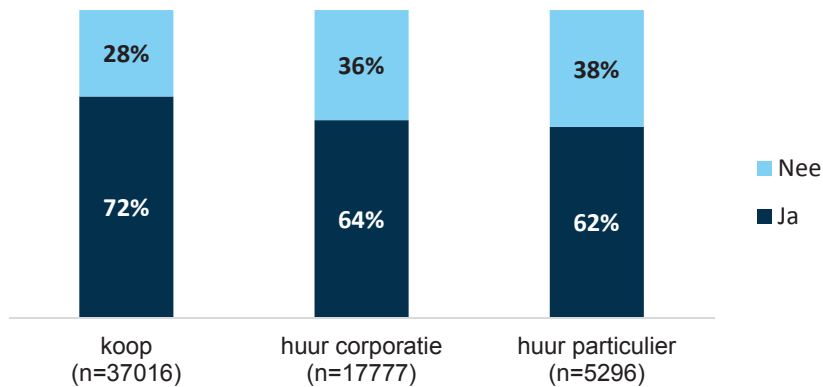
In ongeveer driekwart van de woningen met een WOZ-waarde van 200.000 euro of meer is een rookmelder geïnstalleerd, zie figuur 11. In de woningen met een lagere WOZ-waarde is in minder gevallen een rookmelder aanwezig: ongeveer in twee derde van de woningen met een WOZ-waarde tussen 150.000 en 199.999 euro en in iets meer dan de helft van de woningen met een WOZ-waarde minder dan 150.000 euro. Met name in de laatste categorie, waarin ruim een vijfde van de respondenten valt, is nog veel te verbeteren voor wat betreft de aanwezigheid van rookmelders.

#### 4.1.5 Aanwezigheid rookmelders in relatie tot eigendom van woning

Van de respondenten van het WoON onderzoek die in een huurwoning woont (bijna 38%) heeft 64% een rookmelder geïnstalleerd, waarbij er geen groot verschil is tussen bewoners van particuliere en sociale huurwoningen.

Van de respondenten die in een koopwoning woont (bijna 62%), heeft 72% een rookmelder geïnstalleerd. Een klein deel (0,2%) van de respondenten geeft aan niet in koopwoning te wonen, maar ook niet in een huurwoning. In 57% van deze overige type woningen is een rookmelder geïnstalleerd. De gegevens van huurders en woningeigenaren is in figuur 12 weergegeven.

<sup>54</sup> In 7080 van de 21120 woningen met 3 of meer bewoonbare verdiepingen is op alle bewoonbare (of meer) verdiepingen een rookmelder geïnstalleerd.

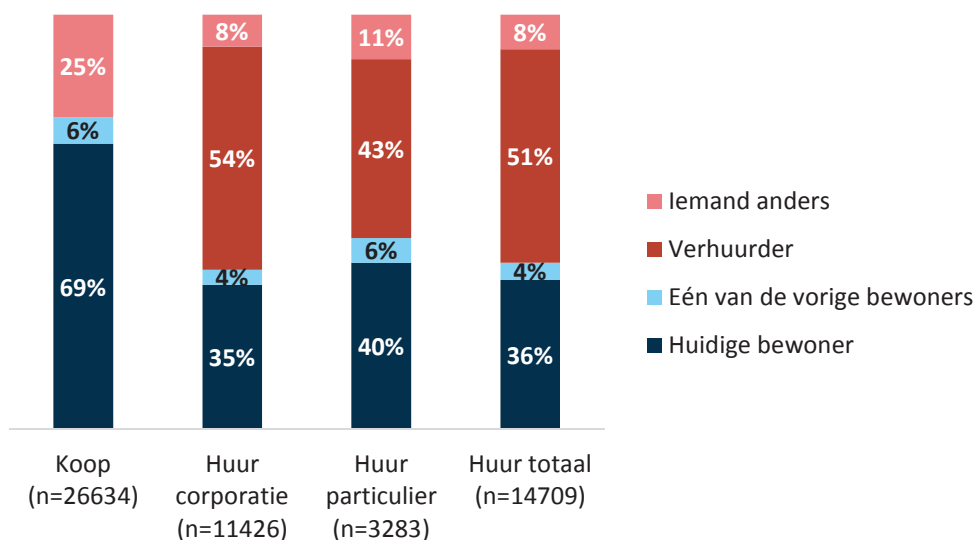


Figuur 12: Aanwezigheid rook-/brandmelder in huur of koopwoning

Uit deze gegevens blijkt geen duidelijk verschil in de aanwezigheid van rookmelders in huur- en koopwoningen.

#### 4.1.6 Persoon die rookmelder heeft geïnstalleerd

Bij in totaal 41.412 respondenten is een rookmelder in hun woning aanwezig, namelijk in 72% van de koopwoningen en in 64% van de huurwoningen. Wie de rookmelder in de woning heeft geïnstalleerd verschilt tussen koop- en huurwoningen. In figuur 13 is per eigendomssituatie weergegeven wie de rookmelder heeft geïnstalleerd.

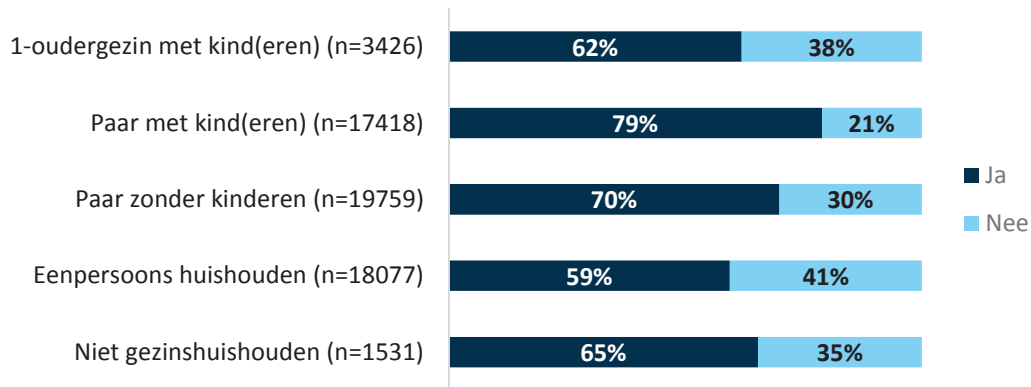


Figuur 13: De persoon die de rookmelder heeft geïnstalleerd (N=41412)

In koopwoningen is in 6% van de gevallen de rookmelder aangebracht door één van de vorige bewoners. Bij huurwoningen was de rookmelder al in 55% van de woningen aanwezig toen de bewoner de woning betrok, waarbij de verhuurder in de meeste gevallen (51%) de rookmelder heeft opgehangen. In de particuliere huursector installeert de verhuurder minder vaak (43%) een rookmelder dan in de sociale huursector (54%). In koopwoningen heeft 69% van de respondenten de rookmelder zelf geplaatst, tegenover 36% van de huurders. De rookmelder is in 25% van de koopwoningen en in 8% van de huurwoningen door iemand anders geplaatst.

#### 4.1.7 Aanwezigheid rookmelders in relatie tot type huishouden

Ongeveer 30% van de respondenten maakt deel uit van een eenpersoons huishouden, 33% van een paar zonder kinderen, 35% van een huishouden met kind(eren)<sup>55</sup> en nog geen 3% van een niet gezinshuishouden. De aanwezigheid van rookmelders is in figuur 14 weergegeven. Hieruit blijkt dat vooral paren met kinderen rookmelders in hun woning hebben geïnstalleerd (79%) en dat in woningen van 1-ouder gezinnen (62%) en alleenstaanden (59%) relatief weinig rookmelders hangen.



Figuur 14: Aanwezigheid rook-/brandmelder per type huishouden

#### 4.1.8 Aanwezigheid rookmelders in relatie tot mate van mobiliteit

Ongeveer 12% van de respondenten heeft moeite met traplopen of kan helemaal niet traplopen. In 64% van de woningen van deze categorie respondenten hangt een rookmelder, terwijl in 69% van de woningen van respondenten die kunnen traplopen een rookmelder hangt.

#### 4.1.9 Samenvatting

Uit de databasestudie blijkt dat in circa 70% van de Nederlandse woningen een rookmelder geïnstalleerd is: circa 45% van de woningen is voorzien van een werkende rookmelder en in circa 35% van de woningen is de werkende rookmelder juist geplaatst, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming<sup>56</sup>. Met name in woningen gebouwd voor 2003, het moment waarop een rookmelder op het lichtnet verplicht werd, blijkt niet altijd een rookmelder aanwezig. Hoe meer verdiepingen een woning heeft, hoe kleiner de kans dat er op iedere verdieping een werkende rookmelder is.

Er is een verband tussen de WOZ-waarde en de aanwezigheid van rookmelders: de duurdere woningen beschikken vaker over rookmelders dan de goedkopere.

Ook in de WoOn-database wordt gevonden dat rookmelders in koopwoningen vaker voorkomen dan in huurwoningen. In koopwoningen is het veelal de eigenaar die de rookmelders installeerde, in huurwoningen de huurder of de verhuurder. Rookmelders zijn het meest aanwezig in woningen van stellen, al dan niet met kinderen. Opvallend is dat bij mensen met een mobiele beperking minder vaak een rookmelder aanwezig is dan bij mensen die zelfstandig kunnen vluchten.

## 4.2 Detectie, alarmering en ontvluchting

In deze paragraaf wordt data geanalyseerd over detectie en alarmering door rookmelders en ontvluchting na de alarmering. Hiervoor is gebruikgemaakt van de bestaande database van Team Brand Onderzoek (TBO) van Brandweer Nederland. Daarnaast is een vragenlijstonderzoek naar woningbranden en rookmelders uitgezet bij een aantal veiligheidsregio's.

<sup>55</sup> 29% van een paar met kind(eren) en 6% van een eenoudergezin met kind(eren).

<sup>56</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.

#### 4.2.1 Rookmelders in relatie tot woningbranden (algemeen)

In de database brandonderzoek van Brandweer Nederland wordt van branden onder andere bijgehouden of er één of meerdere rookmelders aanwezig waren en of deze functioneerden. Over de periode 2010 tot en met 2014 zijn gegevens van in totaal 1718 woningbranden opgenomen. Van 1398 woningbranden is bekend of er wel of geen rookmelders aanwezig waren. Alleen de gegevens van die woningbranden worden in deze paragraaf besproken.

Uit de analyse over de jaren 2010 tot en met 2014 blijkt dat bij 36% van de woningbranden een rookmelder in de woning aanwezig was: bij 23% van de woningbranden functioneerde de rookmelder, bij 5% van de woningbranden functioneerde de rookmelder niet en bij de overige 8% is niet bekend of de rookmelder functioneerde.

In een nadere analyse van de database is gekeken naar het tijdstip van de melding van de brand, de ruimte waarin de brand is ontstaan, de mate van branduitbreiding, de relatie tussen de aanwezigheid van een functionerende rookmelder en het bouwjaar van de woning en de aanwezigheid van slachtoffers als gevolg van de brand. Opgemerkt moet worden dat de branden in de database grotendeels (91%) afkomstig zijn uit vier Veiligheidsregio's (de Veiligheidsregio's Amsterdam-Amstelland, Rotterdam-Rijnmond, Noord- en Oost-Gelderland en Twente). Gezamenlijk vormen zij waarschijnlijk een goede afspiegeling van de situatie in Nederland aangezien deze veiligheidsregio's zowel stedelijke als landelijke gebieden omvatten. Op basis van de huidige gegevens kan dit echter niet met zekerheid worden vastgesteld. Verder zijn de branden in de database in aantal niet volledig en niet aselekt gekozen. De steekproef, bestaande uit 1398 woningbranden in de periode van 2010 tot en met 2014, hoeft daarmee niet per se representatief te zijn voor de situatie in Nederland.

##### *Brandkenmerken*

Op het moment dat mensen veelal slapen, namelijk tussen 00:00 uur en 06:00 uur, waren er het minst aantal woningbranden (n=248). In 25% van de woningbranden in deze periode was een rookmelder aanwezig en functionerend. Dit geldt (bijna) ook voor de woningbranden in de periode 06:00-12:00 uur. In de periode 12:00-18:00 uur was bij 23% van de woningbranden een rookmelder aanwezig en functionerend. In de periode 18:00 tot 00:00 uur was bij 21% van de woningbranden een rookmelder aanwezig en functionerend. Zie ook tabel 14.

Tabel 14: Tijdstip melding AC in relatie tot rookmelders

Tijdstip melding AC	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
06:00-12:00	73	18	26	181	<b>298</b>
12:00-18:00	107	24	47	294	<b>472</b>
18:00-00:00	81	17	27	255	<b>380</b>
00:00-06:00	61	7	17	163	<b>248</b>
<b>Totaal</b>	<b>322</b>	<b>66</b>	<b>117</b>	<b>893</b>	<b>1398</b>



Alleen voor de woningbranden in de jaren 2010 tot en met 2012 zijn gegevens bekend over de ruimte van ontstaan. Als er gekeken wordt naar de ruimte van ontstaan in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders, dan blijkt dat er het vaakst een functionerende rookmelder aanwezig was bij schoorsteenbranden en branden in de bijkeuken/wasruimte, en het minst bij branden in de berging. Zie tabel 15.

Tabel 15: Ruimte van ontstaan in relatie tot rookmelders (periode 2010-2012)

Ruimte van ontstaan	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Keuken	47	7	12	162	<b>228</b>
Woonkamer	29	5	11	90	<b>135</b>
Slaapkamer, woon-/slaapkamer (n=4)	27	7	6	69	<b>109</b>
Buiten / balkon	7	1	0	28	<b>36</b>
Zolder	3	5	1	23	<b>32</b>
Badkamer / toilet	9	1	3	18	<b>31</b>
Berging	2	0	1	28	<b>31</b>
Meterkast	6	0	4	17	<b>27</b>
Schoorsteen / bouwconstructie	9	1	1	15	<b>26</b>
Hal / gang	4	0	2	17	<b>23</b>
Bijkeuken / wasruimte / berging	5	0	0	6	<b>11</b>
Souterrain / kelder / kelderbox	1	0	1	7	<b>9</b>
Technische ruimte	3	0	0	5	<b>8</b>
Trappenhuis	1	0	1	5	<b>7</b>
Overige	1	0	1	9	<b>11</b>
<b>Totaal</b>	<b>154</b>	<b>27</b>	<b>44</b>	<b>499</b>	<b>724</b>

Van 1158 woningbranden is de branduitbreiding bekend. In 17% van de woningbranden waarbij een rookmelder aanwezig en functionerend was, is de brand beperkt gebleven tot het voorwerp waarin de brand is ontstaan, 50% tot de brandruimte, 15% tot de woning en 18% is tot buiten de woning uitgebreid. Bij de woningbranden waar geen rookmelder aanwezig was of de rookmelder niet functioneerde, is 10% beperkt gebleven tot het voorwerp van ontstaan, 48% tot de brandruimte, 23% tot de woning en 19% is tot buiten de woning uitgebreid. Bij een functionerende rookmelder is de brand vaker beperkt gebleven tot het voorwerp van ontstaan (17% versus 10%) en tot de brandruimte in totaal (voorwerp + brandruimte), namelijk in 64%, versus 58%, van de branden. Zie ook tabel 16.

Tabel 16: Branduitbreiding in relatie tot rookmelders

Brand is uitgebreid tot ...	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Voorwerp	49	14	7	68	<b>138</b>
Brandruimte	126	42	35	351	<b>554</b>
Woning	61	13	20	174	<b>268</b>
Buiten woning	38	15	8	137	<b>198</b>
<b>Totaal</b>	<b>274</b>	<b>84</b>	<b>70</b>	<b>730</b>	<b>1158</b>

### Gebouwkenmerken

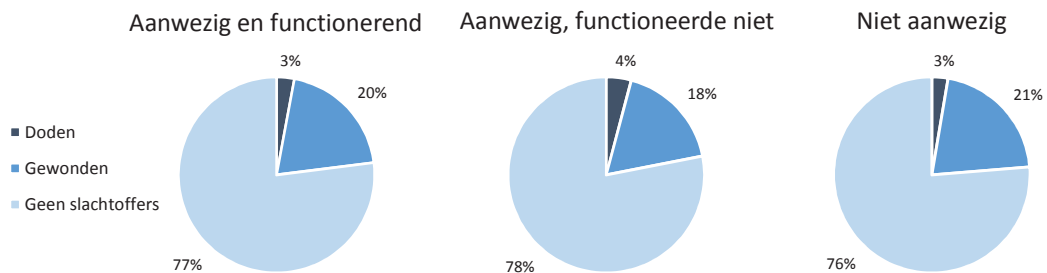
Van 1110 woningbranden is het bouwjaar bekend. Sinds 2003 is de aanwezigheid van rookmelders in woningen verplicht. Opvallend is dat bij woningbranden slechts in 41% van de woningen gebouwd na 2003 een functionerende rookmelder aanwezig was, bij 8% de rookmelder niet functioneerde en bij 23% is het functioneren niet bekend. Bij 28% was zelfs geen rookmelder aanwezig. Van alle geanalyseerde woningbranden is van 8% van de woningbranden niet bekend of de rookmelder functioneerde, bij 24% functioneerde de rookmelder, bij 5% functioneerde de rookmelder niet. In 63% van de woningbranden was helemaal geen rookmelder aanwezig. Zie tabel 17.

Tabel 17: Bouwjaar woning in relatie tot rookmelders

Bouwjaar woning	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Voor 1945	95	14	29	253	<b>391</b>
1945-1975	73	14	18	269	<b>374</b>
1976-1992	46	14	20	127	<b>207</b>
1993-2003	23	3	11	37	<b>74</b>
2004-2010	23	4	13	13	<b>53</b>
Na 2010	3	1	2	5	<b>11</b>
<b>Totaal</b>	<b>263</b>	<b>50</b>	<b>93</b>	<b>704</b>	<b>1110</b>

### Menskenmerken

In figuur 15 is weergegeven hoe de verdeling van wel/niet aanwezige en functionerende rookmelders is bij branden met en zonder doden of gewonden.



Figuur 15: Slachtoffers in relatie tot rookmelders

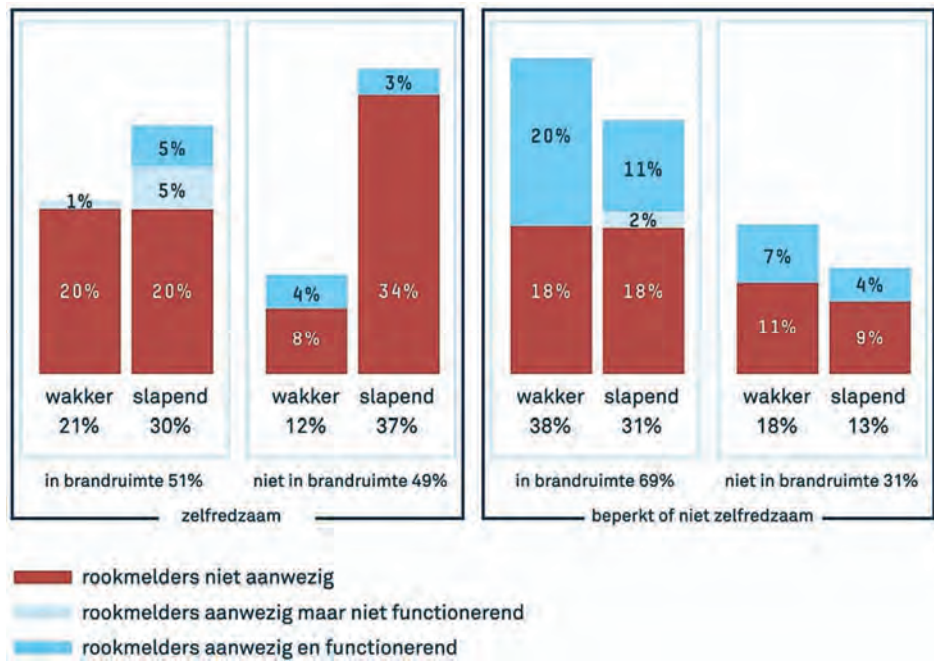
Tussen woningbranden met en zonder functionerende rookmelders zijn geen grote verschillen in de verdeling van woningbranden zonder slachtoffers, woningbranden met doden en woningbranden met gewonden. Het aandeel woningbranden zonder slachtoffers is wel iets groter met een functionerende rookmelder (77%) dan wanneer de rookmelder niet aanwezig was (76%), maar de verschillen zijn minimaal. Omdat niet alle woningbranden met doden of gewonden in de database zijn opgenomen, en de woningbranden in de database niet select gekozen zijn, kan niet worden vastgesteld of de situatie zoals weergegeven in figuur 15 de daadwerkelijke situatie is.

#### 4.2.2 Rookmelders in relatie tot zelfredzaamheid (fatale woningbranden)

In deze paragraaf zijn de gegevens over de kenmerken van de dodelijke slachtoffers bij fatale woningbranden geanalyseerd in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders. De analyse is uitgevoerd op basis van de database Fatale Woningbranden van het IFV voor de fatale woningbranden in de periode 2008 tot en met 2013. Daarbij zijn in totaal 186 dodelijke slachtoffers gevallen bij 172 niet-opzettelijke<sup>57</sup> fatale woningbranden. Van 126 fatale woningbranden is bekend of er een rookmelder aanwezig was of niet. Bij 33% (n=41) van de deze woningbranden was ten minste één rookmelder aanwezig. In 24% (n=30) van de gevallen is de rookmelder daadwerkelijk afgegaan. Bij deze branden zijn 33 slachtoffers gevallen. Dat betekent dat er in bijna driekwart van de fatale woningbranden geen werkende rookmelder aanwezig was.

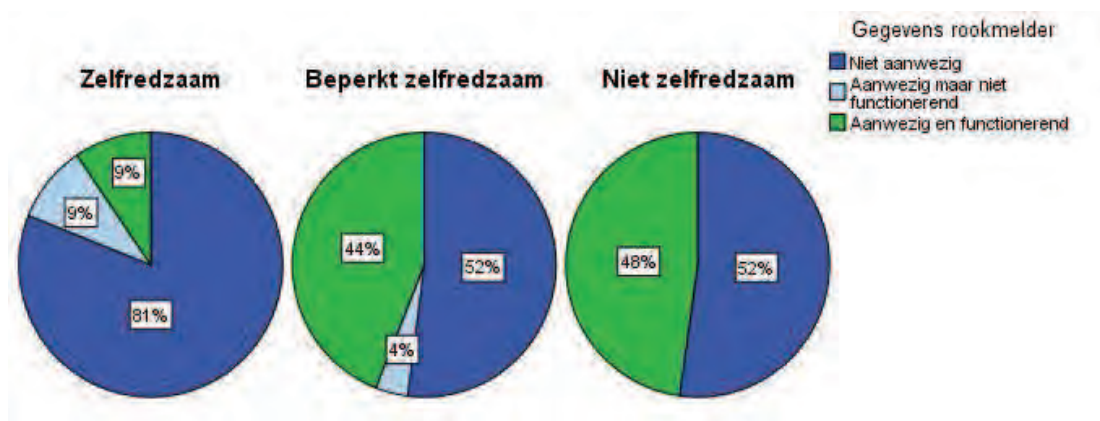
Alleen de fatale woningbranden waarvan de gegevens over rookmelders en de mate van zelfredzaamheid van de slachtoffers bekend zijn, zijn in de analyse meegenomen. Voor de bepaling van de mate van zelfredzaamheid zijn de mobiliteit, het verstandelijk vermogen, het gehoor en het zicht meegewogen. Dit betekent dat de gegevens van 118 slachtoffers van fatale woningbranden zijn geanalyseerd. Dit betreffen 73 zelfredzame personen (62% van 118) en 45 beperkt- of niet zelfredzame personen (38% van 118). Verder is gekeken naar de mate van waakzaamheid van het slachtoffer tijdens de brand. Van de zelfredzame personen sliepen er vermoedelijk 49 (67% van 73) en waren 24 personen wakker (33% van 73). Van de beperkt- of niet zelfredzame personen sliepen er vermoedelijk 20 (44% van 45) en waren 25 personen wakker (56% van 45). Tenslotte is gekeken naar de locatie waar het slachtoffer tijdens de brand is aangetroffen. Van de zelfredzame personen waren er 37 in de brandruimte aanwezig (51% van 73) en 36 personen niet (49% van 73). Van de beperkt- of niet zelfredzame personen waren er 31 in de brandruimte aanwezig (69% van 45) en 14 personen niet (31% van 45).

<sup>57</sup> Alle fatale woningbranden, met uitzondering van woningbranden die zijn veroorzaakt vanwege opzettelijke brandstichting, moord en/of zelfmoord.



Figuur 16: Rookmelders in relatie tot zelfredzaamheid, opmerkzaamheid en locatie van slachtoffers

In figuur 17 is de groep beperkt- of niet zelfredzame personen (n=45) nader opgesplitst in beperkt zelfredzame personen (n=25) en niet zelfredzame personen (n=23). In de eerste categorie vallen slachtoffers met een beperking op één aspect, zoals personen met een beperkt zelfstandige mobiliteit, slechtzienden en slechthorenden. In de tweede categorie vallen slachtoffers met een verstandelijke beperking, niet zelfstandig mobiele personen, blinde en dove personen en mensen met meerdere beperkingen, zoals beperkt zelfstandig mobiele en slechtziende personen.



Figuur 17: Mate van zelfredzaamheid versus aanwezigheid en functioneren van rookmelder

Zoals eerder al is aangegeven was een werkende rookmelder aanwezig bij 9% van de fatale woningbranden met slachtoffers die zelfredzaam waren. Het percentage werkende rookmelders bij fatale woningbranden met beperkt- of niet zelfredzame slachtoffers ligt veel hoger, namelijk 44%, respectievelijk 48%. Hoewel het verschil klein is, laat de figuur zien dat naarmate mensen minder zelfredzaam zijn, zij vaker overlijden bij een woningbrand met een werkende rookmelder. Het is niet bekend hoeveel zelfredzame en beperkt- of niet zelfredzame personen door een werkende rookmelder zijn gered. Maar als aangenomen kan worden dat de verdeling van woningen met werkende rookmelders onder zelfredzame en beperkt- of

niet zelfredzame personen gelijk is, dan lijken rookmelders voor zelfredzame personen effectief te zijn. Immers, op basis van een gelijke verdeling is het percentage zelfredzame personen die een brand bij een werkende rookmelder niet hebben overleefd ruim 5 maal kleiner dan verwacht.

Uit de analyse van fatale woningbranden kan voorzichtig geconcludeerd worden dat een werkende rookmelder het meest effectief is voor zelfredzame personen. Gezien het grote percentage slapende zelfredzame niet in de brandruimte aanwezige slachtoffers van branden zonder een werkende rookmelder, is de verwachting dat een werkende rookmelder met name dit percentage slachtoffers kan beperken. Rookmelders lijken het minst effectief voor beperkt- of niet zelfredzame personen die in de brandruimte aanwezig zijn, zelfs als zij wakker zijn. Om deze categorie slachtoffers te beperken zijn aanvullende maatregelen nodig die brand voorkomen, die zorgen voor een snelle brandbestrijding en/of beperking van rookontwikkeling en die een snelle redding mogelijk maken.

### 4.2.3 Onderzoek woningbranden 2014: Totaaloverzicht

In de veiligheidsregio's Drenthe en Noord- en Oost-Gelderland is gedurende de periode van 1 juli tot en met 31 december 2014 na een woningbrand een online-vragenlijst ingevuld over de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders bij woningbranden. In totaal zijn gegevens over 51 woningbranden ingevoerd, namelijk van 26 woningbranden in Drenthe en 26 in Noord- en Oost-Gelderland. Van 34 woningbranden is bekend of een rookmelder aanwezig was. Hierna volgt een overzicht van de rookmelderkenmerken (detectie), de brandkenmerken (detectie) en menskenmerken (alarmering en ontvluchting) van deze woningbranden. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op de woningbranden waarbij een rookmelder niet effectief is gebleken.

#### Brandkenmerken

In tabel 18 zijn de brandoorzaken weergegeven in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders.

Tabel 18: Brandoorzaak in relatie tot rookmelders

Brandoorzaak	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Defect elektrisch apparaat	3	2	0	2	7
Kortsluiting	1	2	1	1	5
Brandstichting	0	0	0	4	4
Koken	1	0	0	3	4
Kachel / verwarming / schoorsteen	1	1	0	2	4
Anders	3	1	0	0	4
Onbekend	2	0	0	4	6
<b>Totaal</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>34</b>



De meeste, namelijk 7, van de onderzochte woningbranden zijn ontstaan door een defect apparaat. In 3 gevallen functioneerde de rookmelder en in 4 gevallen functioneerde de rookmelder niet of was geen rookmelder aanwezig. Bij 1 van de 5 woningbranden die is ontstaan door kortsluiting functioneerde de rookmelder, dit geldt ook voor 1 van de 4 woningbranden die is ontstaan door koken en voor 1 van de 4 woningbranden die is ontstaan door een kachel, verwarming of haard. In de categorie 'anders' vallen woningbranden die zijn ontstaan door broei, blikseminslag en werkzaamheden aan dak of serre. Van 6 woningbranden is de oorzaak onbekend. Hieronder valt ook de woning waarbij de rookmelder is afgegaan maar niet duidelijk is of er brand is geweest.

In tabel 19 is de ruimte waarin de brand is ontstaan weergegeven in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders.

Tabel 19: Ruimte van ontstaan (brandruimte) in relatie tot rookmelders

Brandruimte	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Woonkamer	0	0	0	5	5
Keuken	1	2	0	5	8
Bijkeuken	2	0	0	0	2
Meterkast	2	0	0	0	2
Trapkast naar kelder	0	0	0	3	3
Slaapkamer	1	0	0	0	1
Overloop 2 <sup>de</sup> verd.	1	1	0	0	2
Zolder	1	1	1	0	3
Schoorsteen	1	0	0	0	1
Buiten de woning	1	2	0	0	3
Onbekend	1	0	0	3	4
<b>Totaal</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>34</b>

De meeste woningbranden zijn in de keuken ontstaan, waarbij in 1 geval een functionerende rookmelder in de woning aanwezig was. Twee woningbranden met een functionerende rookmelder zijn in de bijkeuken ontstaan en 2 andere woningbranden zijn in de meterkast ontstaan. De overige branden in een woning met één of meerdere functionerende rookmelder(s) zijn ontstaan in een slaapkamer, op de overloop op de tweede verdieping, op zolder, in de schoorsteen, buiten de woning en op een onbekende locatie.

Van 32 woningbranden is bekend op welke verdieping de brand is ontstaan. De verdieping waar de brand is ontstaan, in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders, is weergegeven in tabel 20.

Tabel 20: Verdieping waar brand is ontstaan in relatie tot rookmelders

Ontstaan op ...	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Begane grond	6	3	0	14	23
Eerste verdieping	1	0	0	1	2
Tweede verdieping	1	3	0	0	4
Derde verdieping	2	0	1	0	3
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>32</b>

De meeste woningbranden zijn ontstaan op de begane grond, waarbij in 6 gevallen een functionerende rookmelder in de woning aanwezig was. Bij 3 woningbranden die op de begane grond zijn ontstaan was wel een rookmelder aanwezig, maar deze functioneerde niet. In 14 gevallen was helemaal geen rookmelder aanwezig.

In tabel 21 is het tijdstip van het melden van de brand aan de alarmcentrale weergegeven in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders.

Tabel 21: Tijdstip melding AC in relatie tot rookmelders

Tijdstip melding AC	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
06:00-12:00	3	0	0	2	5
12:00-18:00	3	6	0	1	10
18:00-00:00	3	0	1	5	9
00:00-06:00	2	0	0	8	10
<b>Totaal</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>34</b>

In 10 van de 34 woningbranden is de brand gemeld op een moment dat verwacht mag worden dat eventuele aanwezigen slapen, namelijk tussen 00:00 en 06:00 uur. In 2 gevallen was een functionerende rookmelder aanwezig en in 8 gevallen was geen rookmelder aanwezig. De woningbranden waarbij de rookmelder niet functioneerde vonden vooral plaats tussen 12:00 en 18:00 uur.

In tabel 22 is de mate van branduitbreiding op het moment van het ontdekken van de brand weergegeven, in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders.

Tabel 22: Branduitbreiding op moment van ontdekken in relatie tot rookmelders

Brand is uitgebreid tot ...	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Voorwerp	2	3	0	2	7
Brandruimte	7	1	1	9	18
Verdieping	0	0	0	2	2
Woning	0	0	0	0	0
Buiten woning	0	0	0	3	3
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>30</b>

Van 30 woningbranden is de mate van branduitbreiding op het moment van ontdekken bekend. In 2 (22%) van de 9 woningbranden met een functionerende rookmelder is de brand op het moment van ontdekken beperkt tot het voorwerp waarin de brand is ontstaan. Dit geldt ook voor 5 (25%) van de 20 woningbranden zonder (functionerende) rookmelder. Bij 89% van de woningbranden met functionerende rookmelder was de brand op het moment van ontdekken beperkt tot de brandruimte, dat is inclusief de branden waarin de brand beperkt is gebleven tot het voorwerp. Dit geldt voor 75% van de woningbranden zonder (functionerende) rookmelder. Zonder een (functionerende) rookmelder was de brand bij ontdekken al in enkele gevallen uitgebreid tot buiten de woning (15%).

De mate van rookverspreiding op het moment dat de brand is ontdekt in relatie tot de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders is weergegeven in tabel 23.

Tabel 23: Rookverspreiding op moment van ontdekken in relatie tot rookmelders

Rook is verspreid tot ...	Rookmelder aanwezig			Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend		
Binnen brandruimte	6	2	1	3	12
Binnen één verdieping	3	0	0	4	7
Meerdere verdiepingen	0	1	0	3	4
Buiten de woning	0	1	0	5	6
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>29</b>

Van 29 woningbranden is de mate van rookontwikkeling op het moment van het ontdekken van de brand bekend. In 6 (75%) van de 9 woningbranden waarbij een rookmelder functioneerde, was de rookverspreiding op het moment van het ontdekken van de brand beperkt gebleven tot de brandruimte. Dit geldt ook voor 5 (33%) van de 19 woningbranden waar geen (functionerende) rookmelder aanwezig was. Bij de woningbranden met functionerende rookmelder was de rookverspreiding in alle gevallen (100%), inclusief de woningbranden waarbij de rook binnen de brandruimte is gebleven, op het moment van ontdekken beperkt

tot één verdieping. Bij de woningbranden zonder (functionerende) rookmelder was de rookverspreiding op dat moment in 9 (47%) van de gevallen beperkt tot één verdieping. In 4 (21%) van de gevallen was de rook over meerdere verdiepingen verspreid en in 6 (32%) van de gevallen bevond de rook zich al buiten de woning.

## Gebouwkenmerken

Van 17 woningbranden is bekend dat een rookmelder in de woning aanwezig was en waar de rookmelder(s) hing(en). Op basis hiervan is de mate van rookmelderdekking bepaald in relatie tot het functioneren van de rookmelders. Dit is weergegeven in tabel 24.

Tabel 24: Mate van rookmelderdekking

Rookmelder aanwezig	Functionerend	Niet functionerend	Functioneren onbekend	Totaal
Op iedere bouwlaag	4	3	0	7
Niet op iedere bouwlaag	6	3	1	10
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

Bij 7 van de 17 woningbranden was op iedere bouwlaag in de verkeersruimte een rookmelder aanwezig. Dit betekent dat bij de woningbranden waar rookmelders aanwezig waren, de locatie van de rookmelders in 41% van de gevallen in lijn was met de uitgangspunten van het Bouwbesluit en de adviezen van brandweer en rookmelderproducenten voor het niveau van een minimale bescherming<sup>58</sup>. In 1 woningbrand was alleen op de bovenste bouwlaag geen rookmelder aanwezig. Bij 2 woningbranden was alleen in de hal op de begane grond geen rookmelder aanwezig, maar wel in een andere ruimte op de begane grond (keuken of slaapkamer). Bij 7 andere woningbranden was zowel op de begane grond als in de verkeersruimte op 1 of meerdere andere bouwlagen geen rookmelder aanwezig.

## Menskenmerken

### Alarmering

Bij 26 van de 34 woningbranden waarbij de aanwezigheid van rookmelders bekend is waren op het moment van de brand personen aanwezig in de woning. Dit geldt voor 10 (91%) van de 11 woningbranden met een functionerende rookmelder. Bij 7 woningbranden hebben de aanwezigen de brand ontdekt doordat de rookmelder afging. Bij de 22 woningbranden zonder (functionerende) rookmelder waren in 16 gevallen (73%) personen aanwezig. In 11 van deze gevallen is de brand ontdekt doordat de aanwezigen zelf de brand hebben waargenomen, in 3 gevallen zijn de aanwezigen gewaarschuwd door anderen en in 2 gevallen is niet bekend hoe de aanwezigen zijn gealarmeerd.

In tabel 25 is weergegeven wat de eerste reactie van de aanwezigen was, op het moment dat zij de brand hadden ontdekt.

<sup>58</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.

Tabel 25: Eerste reactie op moment van ontdekken in relatie tot rookmelders

Eerste reactie	Rookmelder aanwezig		Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend		
112 bellen	6	1	0	7
Het uitvoeren van een bluspoging	2	1	3	6
Het uitvoeren van een vluchtpoging	1	1	1	3
Anderen waarschuwen	1	1	0	2
Geen reactie	0	0	3	3
Het uitvoeren van een reddingspoging (mensen, dieren, eigendommen)	0	0	1	1
Het afsluiten van de stroomtoevoer	0	1	0	1
Kijken waar de brand is	0	1	0	1
Onbekend	0	0	2	2
<b>Totaal</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>26</b>

In de meeste gevallen (7 keer) is als eerste 112 gebeld. Dit geldt zelfs bij 6 van de 10 woningbranden waarbij een functionerende rookmelder in de woning aanwezig was. Bij 6 woningbranden is als eerste een bluspoging uitgevoerd, vooral (4 keer) in de gevallen waarbij geen (functionerende) rookmelder aanwezig was. Bij de woningbranden zonder (functionerende) rookmelder is ook relatief vaak (3 keer) niets gedaan. In 2 gevallen was de aanwezige in verwarde toestand en in 1 geval was het een baby. Slechts bij 3 woningbranden is als eerste een vluchtpoging gedaan.

#### *Ontvluchting*

Van 25 woningbranden is niet alleen bekend dat personen in de woning aanwezig waren, maar is ook het aantal aanwezigen bekend. Bij:

- > 12 woningbranden was 1 persoon aanwezig,
- > negen9 woningbranden waren 2 personen aanwezig,
- > twee2 woningbranden waren 3 personen aanwezig en
- > drie3 woningbranden waren 4 personen aanwezig.
- > één1 woningbrand is het aantal aanwezigen niet bekend en zijn alleen de kenmerken bekend van de gewonde bij die brand.

Van 42 personen die op het moment van de brand in de woning aanwezig waren, zijn de kenmerken met betrekking tot de mate van zelfredzaamheid bekend. De kenmerken zijn in tabel 26 weergegeven.



Tabel 26: Kenmerken van mate van zelfredzaamheid van aanwezigen

Kenmerk aanwezige	Rookmelder aanwezig		Rookmelder niet aanwezig	Totaal
	Functionerend	Niet functionerend		
Niet zelfstandig mobiel	1	1	1	3
Zelfstandig mobiel	10	11	15	36
Mobiliteit onbekend	1	2	0	3
Verstandelijke beperking	0	1	4	5
Geen verstandelijke beperking	11	11	11	33
Verstandelijke beperking onbekend	1	2	1	4
Slechthorend	9	11	7	27
Goed horend	2	0	0	2
Gehoor onbekend	1	3	9	13
Slechtziend	11	11	7	29
Goed ziend	1	3	9	13
Zicht onbekend	7	7	13	27
Slapend	4	4	0	8
Wakker	1	3	3	7
Wakker/slapend onbekend	1	1	1	3

Bij de woningbranden waarbij de rookmelder functioneerde waren 2 personen aanwezig die slechthorend waren, 1 persoon was niet zelfstandig mobiel en 4 personen sliepen op het moment van de brand. Bij de woningbranden waarbij de rookmelder niet functioneerde sliepen ook 4 personen op het moment van de brand en had 1 persoon (baby) een verstandelijke beperking en was niet zelfstandig mobiel. Bij de woningbranden waarbij geen rookmelder aanwezig was, was 1 persoon niet zelfstandig mobiel en hadden 4 personen een verstandelijke beperking. In 2 gevallen waren de personen met een verstandelijke beperking een volwassen verward persoon die niet reageerden op de brand en in 1 ander geval was het een baby die door een ouder mee naar buiten is genomen. Ook de baby die aanwezig was bij de brand met een niet functionerende rookmelder is niet zelfstandig gevlucht maar door een ouder mee naar buiten genomen. Bij een vijfde woningbrand waarbij een aanwezige niet zelfstandig is gevlucht, was wel een functionerende rookmelder aanwezig, maar 1 van de aanwezigen was niet zelfstandig mobiel en slechthorend. Een andere aanwezige was ook slechthorend, maar wel mobiel en kon zelfstandig vluchten.

## Rookmelderkenmerken (detectie)

Bij 11 woningbranden was een functionerende rookmelder aanwezig. In 1 geval is de rookmelder afgegaan, maar er waren geen personen aanwezig en het is niet duidelijk of er (een kleine) brand is geweest. Bij 6 woningbranden was wel een rookmelder aanwezig, maar deze functioneerde niet. Bij 1 woningbrand is niet bekend of de rookmelder functioneerde en bij 16 woningbranden was helemaal geen rookmelder aanwezig.

Van 9 van de 18 woningbranden waarbij een rookmelder aanwezig was is het type rookmelder bekend. In 7 gevallen waren het rookmelders met een batterij die jaarlijks vervangen moet worden en in 2 gevallen rookmelders die zijn aangesloten op het lichtnet. Bij 1 woningbrand met rookmelders op het lichtnet functioneerde de rookmelder en dit geldt voor 4 woningbranden met rookmelders op batterijen.

### 4.2.4 Samenvatting

Uit de database van het Team Brand Onderzoek blijkt dat bij 24% van de woningbranden een werkende rookmelder in de woning aanwezig was. Opvallend is dat bij de woningbranden in woningen van na 2003, die gebouwd zijn onder het Bouwbesluit waarin rookmelders verplicht zijn gesteld, in slechts 41% van de woningen een werkende rookmelder aanwezig was. De meeste (fatale) woningbranden ontstaan in de keuken of de woonkamer. Verder blijven de meeste woningbranden beperkt tot de brandruimte waarin de brand ontstond. Uit de analyse van fatale woningbranden kan voorzichtig geconcludeerd worden dat een werkende rookmelder het meest effectief is voor zelfredzame personen. Het percentage slappende, zelfredzame en niet in de brandruimte aanwezige slachtoffers van branden zonder een werkende rookmelder is groot. Een werkende rookmelder zou met name dit percentage slachtoffers kunnen beperken. Rookmelders lijken het minst effectief voor beperkt- of niet zelfredzame personen die in de brandruimte aanwezig zijn, zelfs als zij wakker zijn. Om deze categorie slachtoffers te beperken zijn aanvullende maatregelen nodig die brand voorkomen, die zorgen voor een snelle brandbestrijding en/of beperking van rookontwikkeling en die een snelle redding mogelijk maken.

## 4.3 Nader onderzoek naar cases waarin een rookmelder niet effectief was

### 4.3.1 Woningbranden 2014

In deze paragraaf wordt ingegaan op de woningbranden in de periode van juli tot en met december 2014 in de veiligheidsregio's Drenthe en Noord- en Oost-Gelderland, waarbij een rookmelder niet effectief is geweest. Bij 16 woningbranden waarbij één of meerdere rookmelder(s) aanwezig waren, waren op het moment van de brand ook personen in de woning aanwezig. Bij 8 (50%) van deze woningbranden is de rookmelder niet effectief gebleken.

Bij één woningbrand was de rookmelder niet effectief omdat een 50-jarige persoon gewond is geraakt terwijl een functionerende rookmelder in de woning aanwezig was. Er was geen sprake van een mobiele of andere beperking. De brand is ontstaan in de meterkast en de brandontwikkeling en rookverspreiding was op het moment van het ontdekken van de brand nog beperkt tot de ruimte (meterkast) waarin de brand was ontstaan. Na het ontdekken van de brand heeft de persoon als eerste 112 gebeld.

Bij de andere woningbrand waarbij een functionerende rookmelder niet effectief is geweest, kon een aanwezige niet zelfstandig vluchten. Dit betrof een 70-jarige die niet zelfstandig mobiel en slechthorend was. Een andere 70-jarige slechthorende kon wel zelfstandig vluchten. De rookmelder die afging, bevond zich in de slaapkamer op de begane grond, waar ook de brand is ontstaan. In eerste instantie dachten de aanwezigen dat de wekker afging toen zij

de rookmelder hoorden afgaan. De eerste reactie na het ontdekken van de brand was het uitvoeren van een bluspoging.

Bij 6 andere woningbranden was wel een rookmelder aanwezig, maar deze functioneerde niet en is daarom niet effectief geweest. In 3 gevallen ging het om rookmelder met een batterij die jaarlijks vervangen moet worden en in 1 geval om een rookmelder die is aangesloten op het lichtnet. Bij 2 woningbranden is het type voeding niet bekend. In tabel 27 zijn de brandruimten en de locaties van rookmelders weergegeven bij de woningbranden waarbij de rookmelder niet functioneerde. In alle gevallen functioneerde de rookmelder niet omdat de rook niet nabij de rookmelder was gekomen.

Tabel 27: Ruimte waarin brand is ontstaan (brandruimte) in relatie tot locatie rookmelder

Brandruimte	Rookmelder aanwezig op ...		
	Hal begane grond	Overloop 1 <sup>ste</sup>	Overloop 2 <sup>de</sup>
Keuken	X	X	
Keuken			X
Overloop 2 <sup>de</sup> verdieping	trappgat naar 1 <sup>ste</sup> verdieping		
Zolder	X	X	X
Buiten de woning	X	X	
Buiten de woning	X		

Bij één van de twee woningbranden die op de begane grond zijn ontstaan, was in de hal op de begane grond een rookmelder aanwezig (zie tabel 27). In de woning waarbij brand op zolder (derde verdieping) is ontstaan, was alleen daar geen rookmelder aanwezig, wel op alle andere verdiepingen. De rook was bij het ontdekken van de ene keukenbrand op het moment van het ontdekken van de brand nog niet naar de hal verspreid. Bij de andere keukenbrand was de rook op dat moment al tot buiten de woning verspreid. Bij de woningbrand die op de overloop is ontstaan, was de rook al naar de bovenliggende verdieping verspreid.

Bij een woningbrand waarbij de rookmelder niet functioneerde is een gewonde gevallen. De brand is ontstaan in de keuken. Daarbij is een baby, die in de slaapkamer sliep, gewond geraakt. Drie andere personen, die op het moment van de brand ook sliepen, zijn door de buren gealarmeerd en konden daardoor nog zelfstandig uit de woning vluchten. Op zolder was een rookmelder aanwezig, maar deze is niet afgegaan doordat de rook, vanwege gesloten deuren, niet nabij de rookmelder is gekomen. Bij twee andere woningbranden zijn ook (2) baby's gewond geraakt. Bij de ene woningbrand was geen rookmelder aanwezig en bij de andere woningbrand is niet bekend of een rookmelder aanwezig was.

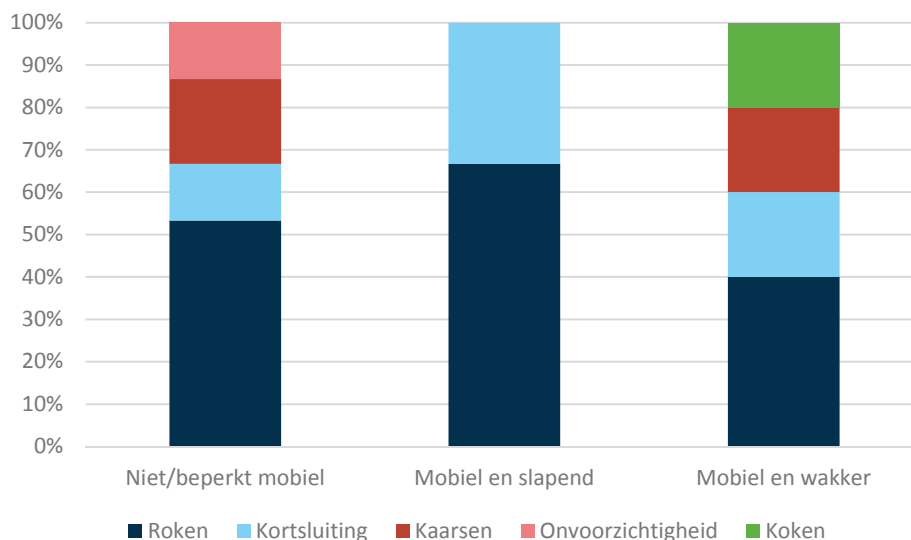
### 4.3.2 Fatale woningbranden 2008-2013

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de fatale woningbranden waarbij een werkende rookmelder aanwezig was. Ondanks de aanwezigheid ervan zijn er immers toch dodelijke slachtoffers gevallen bij de brand. Ingegaan wordt op mogelijke factoren die hierbij een rol speelden.

Bij 24% (n=30) van de fatale woningbranden is de rookmelder daadwerkelijk afgegaan. Omdat het te ver voert om 30 cases te beschrijven wordt eerst op hoofdlijnen ingegaan op de factoren die een rol speelden bij de branden waarbij een rookmelder niet effectief was. Daarna worden de bijzondere cases besproken. Dit zijn de fatale woningbranden waarbij het slachtoffer zich niet in de brandruimte zelf bevond en waar bij de ontvluchting de mobiliteit en alertheid (wakend/slapend) geen belemmerende rol heeft gespeeld.

#### Brandkenmerken

Als gekeken wordt naar de brandoorzaak is er een duidelijk onderscheid te zien tussen wakende en slapende slachtoffers. In alle gevallen is roken de meest voorkomende oorzaak. Bij mensen met een beperkte mobiliteit komt kortsluiting in verhouding wat minder voor, en onvoorzichtigheid en kaarsen meer. Bij mobiele mensen die slapen zijn roken en kortsluiting de oorzaken. Bij mobiele mensen die wakker zijn speelt koken ook een rol. In figuur 18 zijn deze resultaten visueel weergegeven.



Figuur 18: Oorzaak versus mobiliteit bij functionerende rookmelders

De melding wordt bij mensen die mobiel en wakker zijn, en een werkende rookmelder hebben, op één na in alle gevallen overdag gedaan. Bij slapende mobiele slachtoffers en beperkt mobiele slachtoffers is dit zowel overdag als 's nachts.

Bij de branden met mobiele en wakkere slachtoffers was de rook bij aankomst van de brandweer vaak al verspreid: over meerdere ruimten op de verdiepingen, over meerdere verdiepingen of buiten het compartiment.

## Gebouwkenmerken

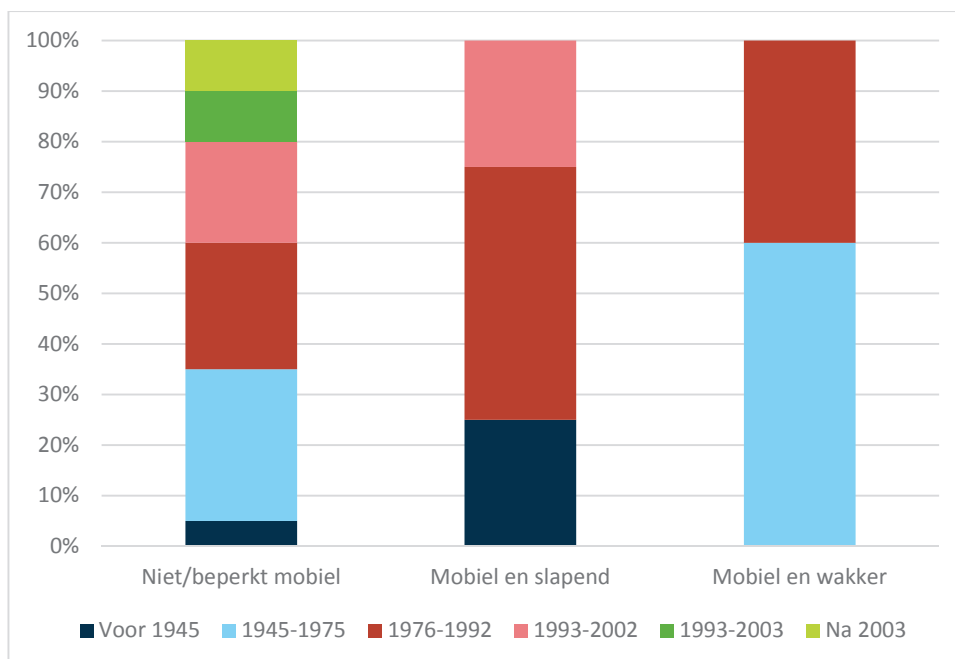
In tabel 28 is de ruimte waar men is aangetroffen afgezet tegen de mobiliteit van het slachtoffer, en bij zelfstandig mobiele mensen ook of men wakker of slapend is.

Tabel 28 Mobiliteit versus ruimte van aantreffen

	Beperkt/niet zelfstandig mobiel	Zelfstandig mobiel en wakker	Zelfstandig mobiel en slapend
Slaapkamer	4	0	1
Woonkamer	7	1	2
Keuken	1	0	0
Hal/overloop/gang	1	2	0
Woon/slaapkamer	3	0	0
Badkamer	0	1	1
Berging	0	1	0

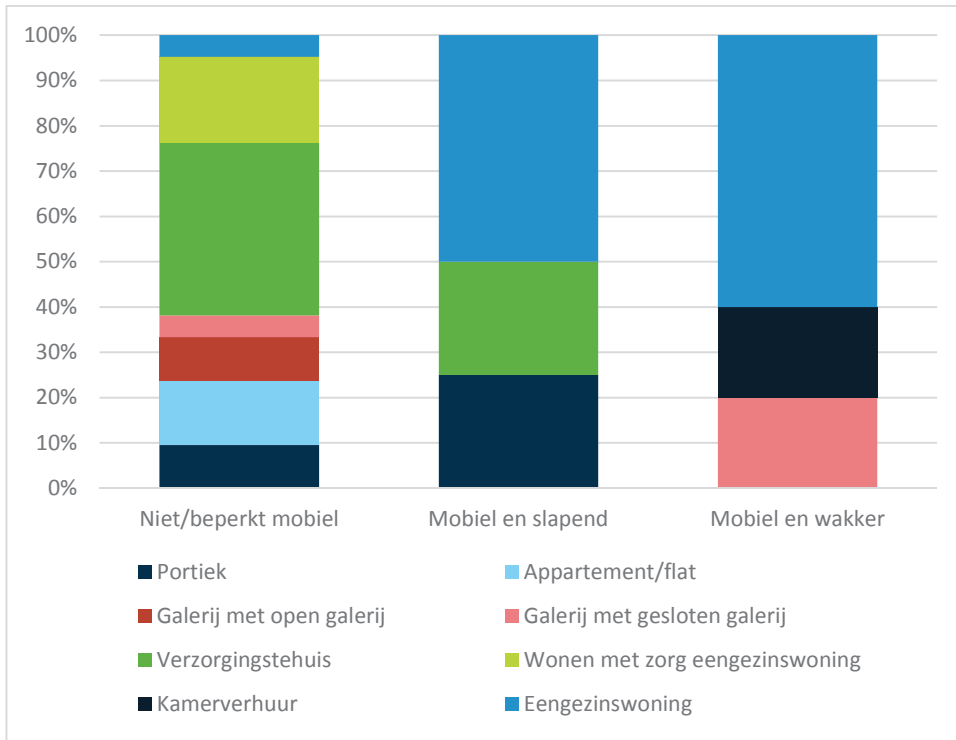
Ook is gekeken of slachtoffers zijn aangetroffen in de brandruimte bij branden met een functionerende rookmelder. Bij mensen die beperkt en niet zelfstandig mobiel zijn is dit 43% (n=9). Bij mensen die zelfstandig mobiel zijn en slapen is dit 100% (n=4). Bij de 6 branden met zelfstandig mobiele personen die wakker zijn, is dit slechts eenmaal voorgekomen, en stond de kleding van de persoon zelf in brand.

Als gekeken wordt naar het bouwjaar, dan blijkt dat woningbranden in woningen die gebouwd zijn na 2003 alleen zijn voorgekomen bij niet mobiele slachtoffers (n=2). Verder vallen de meeste mobiele, wakkere slachtoffers in woningen gebouwd tussen 1944 en 1975, in vrijstaande huizen, galerijflats en kamerverhuur. Zie ook onderstaande figuren 17 en 18.



Figuur 19: Bouwjaar woning versus mobiliteit bij functionerende rookmelders



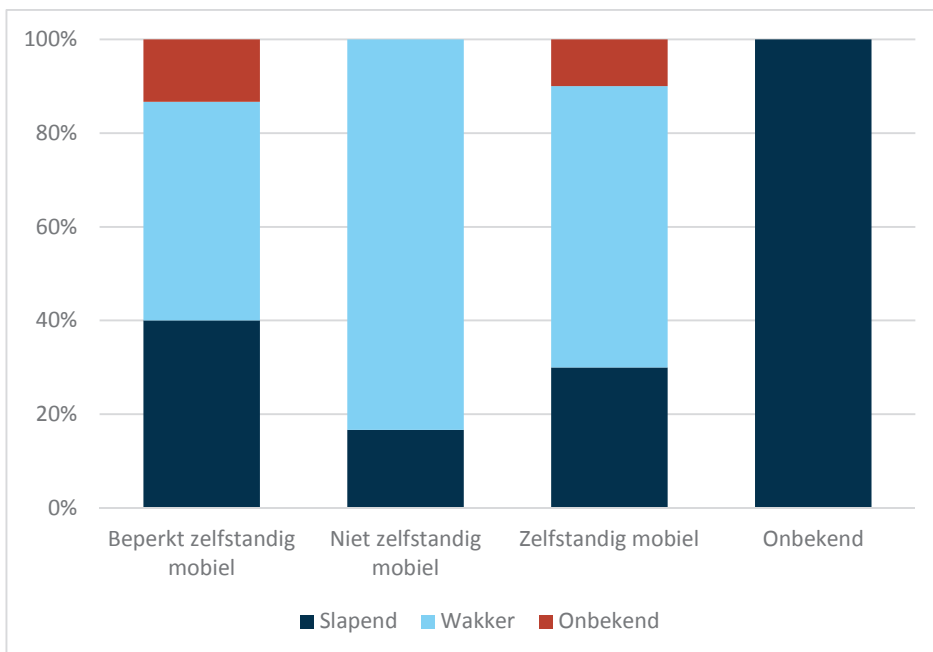


Figuur 20: Type gebouw versus mobiliteit bij functionerende rookmelders

Als gekeken wordt naar de verdieping van ontstaan, dan is dit in alle gevallen de begane grond.

### Menskenmerken

Bij de branden waar er sprake was van een functionerende rookmelder, was in de meeste gevallen (64%, n=21) sprake van een slachtoffer dat beperkt of niet zelfstandig mobiel was. Van de mensen met beperkte of afwezige mobiliteit, is bekend dat er (daarnaast) sprake was van een verstandelijke beperking (n=5), gehoorproblemen (n=3) of zichtproblemen (n=4). Van 10 personen is bekend dat zij zelfstandig mobiel waren. In figuur 21 is de verhouding tussen slapend en wakker weergegeven van bovenstaande groepen.



Figuur 21: Mobiliteit versus wakker/slapend

Van de 10 personen die zelfstandig mobiel waren en een werkende rookmelder hadden zijn 6 personen (vermoedelijk) wakker geweest, en 4 personen (vermoedelijk) slapend. Bij de zes personen die vermoedelijk wakker waren én een werkende rookmelder hadden, was er sprake van het uitvoeren van een actie door het slachtoffer: er waren 3 personen bezig met een vluchtpoging, 2 met een reddingspoging en 1 met een bluspoging. Het gaat dan bijvoorbeeld om een vrouw die weer naar binnen gaat om haar echtgenoot te redden, om iemand die probeert te vluchten naar een ruimte waar water aanwezig is en de situatie dat iemand tijdens een vluchtpoging bedolven raakt onder materiaal waardoor vluchten niet meer mogelijk was.

Van 6 mensen met een werkende rookmelder is bekend dat zij overvallen zijn in de slaap, eenmaal was men ingesloten door de brand, eenmaal stond men zelf in brand.

### Rookmelderkenmerken

Van de 30 branden was er in 11 branden sprake van rookmelders op het lichtnet, bij 11 branden sprake van rookmelders op batterijen en bij vijf branden van een brandmeldinstallatie/-centrale. Bij 7 branden is het type rookmelder onbekend.<sup>59</sup>

### Bijzondere cases: Rookmelder, buiten brandruimte, mobiel en wakker

Voor dit onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders is het interessant met name de cases te analyseren waarbij de slachtoffers een werkende rookmelder hadden, mobiel waren en wakker waren. Immers, in theorie zou de rookmelder de aanwezigen tijdig moeten waarschuwen zodat ontvluchting van de woning mogelijk is. Toch zijn deze slachtoffers bij brand omgekomen. Enkele cases uit de database fatale woningbranden worden daarom kort besproken.

#### Casus 1

*Door kaarsen heeft een tafelkleed vlam gevat. Een oudere vrouw ontdekt de brand doordat zij rook of vlammen zag. Zij gaat naar buiten om hulp te roepen, en gaat weer naar binnen, waarschijnlijk om een beperkt mobiel familielid te redden. De brandweer hoort bij aankomst rookmelders af gaan. De brand is bij aankomst uitslaand. Er is sprake van een grote hoeveelheid brandbare spullen die is opgestapeld in huis. Redding door de brandweer is vanwege de hitte niet meer mogelijk. Buren hebben voor aankomst van de brandweer reddingspogingen gedaan maar kunnen de slachtoffers niet bereiken.*

#### Casus 2

*In een woonzorgcentrum vat de kleding van een slachtoffer vlam, nadat geprobeerd is bij roken in bed een gasaansteker te vullen. Het slachtoffer vlucht naar de badkamer, en kan daar door de BHV vanwege rookontwikkeling niet worden geholpen. Het slachtoffer overlijdt aan brandwonden.*

#### Casus 3

*Een man van middelbare leeftijd rookt in bed. Hij heeft rookmelders in de verkeersruimten, slaapkamer en woonkamer, die allen functioneerden. Het slachtoffer is aangetroffen in de verkeersruimte, en was mogelijk bezig met een vluchtpoging. De brand is bij aankomst van de brandweer beperkt tot de ruimte van ontstaan, maar de rook heeft zich door het gebouw verspreid.*

#### Casus 4

*Een persoon, vermoedelijk onder invloed van alcohol, heeft gerookt in bed. Bij de vluchtpoging die volgt probeert hij een raam in te slaan, hetgeen niet is gelukt.*

<sup>59</sup> Het totaal is hoger dan 30, omdat er bij één brand meerdere typen rookmelders aanwezig kunnen zijn.

Als de hiervoor genoemde cases worden bekeken, valt op dat in drie situaties sprake is van roken in bed. Hierbij bevonden de slachtoffers zich bij het ontstaan van de brand in de brandruimte en probeerde te vluchten naar een andere ruimte. Of de binnendeuren open of dicht waren ten tijde van de brand is niet bekend. In deze drie cases heeft het slachtoffer geen mogelijkheden meer gehad om veilig te vluchten. In één casus is de bewoner weliswaar buiten geweest, maar is teruggegaan om een beperkt mobiel familiedid te redden.

### 4.3.3 Samenvatting

Cases zijn onderzocht waarbij slachtoffers een werkende rookmelder hadden, mobiel waren en wakker waren. Kortom: een situatie waarin men in theorie door de rookmelder tijdig gewaarschuwd zou moeten worden zodat ontvluchting van de woning mogelijk is. Toch zijn er slachtoffers bij dergelijke brand omgekomen. In de meeste cases was er sprake van roken in bed. De persoon bevond zich in de brandruimte en is gevlucht naar een andere ruimte. Er bleken echter onvoldoende mogelijkheden om veilig te vluchten.

Een andere situatie waarin rookmelders niet waarschuwen voor brand is wanneer een rookmelder niet in alarm gaat omdat de rookverspreiding dusdanig beperkt is dat de rook niet tot in de verkeersruimte waar de rookmelder hangt, komt. In dat geval is er voor de aanwezigen echter geen directe bedreiging door de brandhaard. Tijdige detectie zou in dat geval schadebeperkend kunnen werken.

# 5 Resultaten praktijkonderzoek

## 5.1 Inleiding

Rookmelders zijn veelal in de hal of overloop van een woning aangebracht. Het idee hierachter is dat de aanwezigen gealarmeerd moeten worden als de vluchtweg wordt bedreigd door rook. De mensen bevinden zich over het algemeen in de woonkamer, keuken of slaapkamer en dat zijn ook de ruimten waar een brand doorgaans ontstaat. Uit een analyse van fatale woningbranden in de periode van 2008 tot en met 2012 (Groenewegen e.a., 2013) blijkt zelfs dat iets meer dan de helft<sup>60</sup> van de slachtoffers van fatale woningbranden is aangetroffen in de ruimte waarin de brand is ontstaan, veelal de woonkamer<sup>61</sup>, de slaapkamer<sup>62</sup> of gecombineerde woon-/slaapkamer<sup>63</sup>.

De vraag is of een rookmelder in de hal of overloop in staat is om de aanwezigen in de brandruimte op tijd te alarmeren. Allereerst duurt het enige tijd voordat de rook zich naar de hal of overloop heeft verspreid en de rookmelder geactiveerd wordt. Ondertussen worden aanwezigen in de brandruimte al bedreigd door de rook. Verder moeten aanwezigen in andere ruimten vluchten door een verkeersruimte waar al rook hangt omdat ze later gealarmeerd worden. Ten tweede kunnen muren en gesloten deuren het geluid van een rookmelder verzwakken, waardoor aanwezigen in andere ruimten de rookmelder mogelijk niet of pas laat opmerken. Met praktijkonderzoek in bestaande woningen is allereerst de geluidsreductie van rookmelders in verschillende ruimten gemeten. De resultaten zijn opgenomen in paragraaf 5.2. Vervolgens zijn brandtesten uitgevoerd, waarbij gemeten is op welk moment rookmelders in verschillende ruimten in alarm gaan en wanneer sprake is van een bedreigende situatie voor aanwezigen in de woning. Deze resultaten zijn opgenomen in paragraaf 5.3 (resultaten brandproeven) en 5.4 (onderzoek naar aanvullende maatregelen).

## 5.2 Hoorbaarheid van rookmelders

### 5.2.1 Inleiding geluidstesten

De geluidstesten zijn uitgevoerd in een stenen rijtjeswoning met twee verdiepingen. Een uitgebreide beschrijving van de testwoning is te vinden in paragraaf 2.4.2. Voor de geluidstesten is het van belang te noemen dat de binnendeuren stompe boarddeuren met honingraatvulling zijn. Om het verschil in hoorbaarheid te testen is de test de ene keer uitgevoerd met één of meerdere deuren gesloten en de andere keer met alle deuren open.

Om de resultaten, welke in de volgende paragrafen gepresenteerd worden, te kunnen interpreteren is in tabel 29 een aantal referentiewaarden opgenomen van geluiden met een vergelijkbare geluidssterkte.

<sup>60</sup> N=79, 56% van de slachtoffers voor wie dit gegeven bekend is, cumulatief.

<sup>61</sup> N=34, 43% van de branden waarvan dit gegeven bekend is, cumulatief.

<sup>62</sup> N=22, 28% van de branden waarvan dit gegeven bekend is, cumulatief.

<sup>63</sup> N=6, 8% van de branden waarvan dit gegeven bekend is, cumulatief.

Tabel 29: Referentiewaarden voor geluidssterkte (Occupational Safety and Health Administration regulation, 2015)

Geluidssterkte (dB(A))	Referenties
0	Hoor drempel
10	Net aan hoorbaar, normale ademhaling, vallend blad
20	Radiostudio, boom blaadjes in de wind, fluisteren op 1,5 meter
30	Erg stil, bibliotheek (30-40 dB(A)), zacht gefluister op 5 meter, opnamestudio
40	Huiskamer, slaapkamer, rustig kantoor, rustige woonbuurt, vogels bij zonsopkomst, zacht geroezemoes in een klas
50	Rustig, licht autoverkeer op 30 meter, eigen kantoor kamer, regen, koelkast
55	Koffiezetapparaat, elektrische tandenborstel (50-60 dB(A))
60	Indringende airconditioning (50-75 dB(A)), normale conversatie, wasmachine (50-75 dB(A)), vaatwasser (55-70 dB(A)), naaimachine,
70	Storend bij telefoneren. Verkeer op de snelweg, druk kantoor, geluid van hard staande TV, auto op 15 m, fortissimo zingen op 1 m afstand
75	Elektrische mixer, druk restaurant (70-85 dB(A)),
80	F16 straaljager op 3000 m hoogte (74 dB(A))
85	Handzaag, F16 straaljager op 1500 m hoogte, geluid van vliegtuig door de geluidsbarrière (80-89 dB(A))
90	Zeer hinderlijk, gehoorbeschadiging na 8 u. Zware vrachtwagen op 15 m, druk stadsverkeer, schreeuwend praten, passerende motorfiets.

### 5.2.2 Resultaten meting in de woning

Uitgegaan wordt van rookmelders in de verkeersruimten. Ook is onderzocht wat de hoorbaarheid van rookmelders in de verblijfsruimten is, telkens vanuit verschillende ruimten en met deuren open en dicht.

De rookmelder in de hal geeft een geluidssterkte (volume) van 97 dB(A) (zie tabel 30). Als de deur naar de hal open is wordt in de woonkamer een volume gemeten van 89 dB(A) en 75 dB(A) als de deur naar de hal dicht is. Dit betekent een reductie van 8 dB(A) (deur naar hal open) en van 22 dB(A) (deur naar hal dicht). Aan de woonkamer grenst een open keuken. Als de deur tussen de hal en de woonkamer open is, wordt in de keuken een volume van 83 dB(A) gemeten. Dat is een reductie van 14 dB(A). Met de woonkamerdeur dicht is de geluidssterkte (volume) in de keuken 68 dB(A), een reductie van 29 dB(A).

De geluidssterkte (volume) dat op de overloop, die in open verbinding staat met de hal, wordt gemeten is 95 dB(A), een reductie van 2dB(A). De geluidsreductie voor de rookmelder in de hal is gemeten in de ouderslaapkamer 13 dB(A) met de deur open en 22 dB(A) met de deur dicht. In de babyslaapkamer is de gemeten geluidsreductie 15 dB(A), respectievelijk 21 dB(A). Deze en de overige meetwaarden zijn weergegeven in tabellen 30, 31 en 32.



Tabel 30: Resultaten geluidsmetingen, alle deuren open, waarden in dB(A)

		Locatie rookmelder					
		Hal (97dB(A))	Woon- kamer (102dB(A))	Keuken (100dB(A))	Overloop (97dB(A))	Ouder- slaap- kamer (97dB(A))	Baby- kamer (99dB(A))
Locatie meting	Hal	-	90	83	92	86	89
	Woonkamer	89	-	-	71	-	-
	Keuken	83	-	-	68	-	-
	Overloop	95	84	75	-	95	98
	Ouderslaapkamer	84	72	65	89	-	92
	Babykamer	82	-	-	89	-	-

(... dB(A)): waarde van meting in de ruimte waar de rookmelder hangt

- : geen meting uitgevoerd

Tabel 31: Resultaten geluidsmetingen, één deur dicht<sup>64</sup>, waarden in dB(A)

		Locatie rookmelder					
		Hal (97dB(A))	Woon- kamer (102dB(A))	Keuken (100dB(A))	Overloop (97dB(A))	Ouder- slaap- kamer (97dB(A))	Baby- kamer (99dB(A))
Locatie meting	Hal	-	71	66	-	69	72
	Woonkamer	75	-	-	<b>64</b>	72	75
	Keuken	68	-	-	<b>56</b>	66	67
	Overloop	-	<b>63</b>	<b>45</b>	-	81	82
	Ouderslaapkamer	75	-	-	81	-	-
	Babykamer	76	<b>60</b>	<b>56</b>	77	77	-

(... dB(A)): waarde van meting in de ruimte waar de rookmelder hangt

- : geen meting uitgevoerd

vetgedrukt: waarde lager dan eis Bouwbesluit 2012

<sup>64</sup> Het betreft telkens één van beide deuren. Indien er twee deuren waren tussen de twee ruimten, en er zijn meerdere metingen verricht, dan zijn de waarden gemiddeld.

Tabel 32: Resultaten geluidsmetingen, twee deuren dicht, waarden in dB(A)

		Locatie rookmelder			
		Woonkamer (102dB(A))	Keuken (100dB(A))	Ouder slaapkamer (97dB(A))	Babykamer (99dB(A))
Locatie meting	Woonkamer	-	-	<b>53</b>	<b>48</b>
	Keuken	-	-	<b>55</b>	<b>54</b>
	Ouderslaapkamer	<b>62</b>	<b>48</b>	-	<b>68</b>
	Babyslaapkamer	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>61</b>	-

(... dB(A)): waarde van meting in de ruimte waar de rookmelder hangt

- : geen meting uitgevoerd

vetgedrukt: waarde lager dan eis Bouwbesluit 2012

De grootste geluidsreductie vindt plaats bij de overdracht tussen verdiepingen: de rookmelder op de overloop is met de deuren open in de woonkamer te horen met een reductie van 26 dB(A) en in de keuken met een reductie van 29 dB(A). Met de deur dicht is de reductie nog sterker, namelijk 33 dB(A) in de woonkamer en 41 dB(A) in de keuken.

De grootste geluidsreductie in de situatie met de deur open is waargenomen in de ouderslaapkamer, waar de rookmelder van de keuken met een 35 dB(A) lagere volume te horen is. Met één deur dicht is de grootste reductie 55 dB(A), namelijk het geluid van de rookmelder in de keuken gemeten op de overloop. De reductie in de slaapkamers is kleiner, mogelijk omdat het geluid via de vloerconstructie naar de slaapkamers is overgedragen. In de situatie waarin alle deuren gesloten zijn, is de grootste reductie in de ouderslaapkamer gemeten: de rookmelder van de keuken is daar met een reductie van 52 dB(A) te horen. Wanneer alle deuren gesloten zijn, is de grootste reductie 36 dB(A) naar de naastgelegen ruimte (slaapkamers) en ruim 50 dB(A) naar de onder- en bovengelegen verdieping.

### 5.2.3 Resultaten meting buiten de woning

Onderzocht is of een rookmelder in de woning anderen, zoals voorbijgangers op straat, of bewoners in de aangrenzende woning, kunnen alarmeren. Hiervoor is het geluidsniveau in de aangrenzende woning en op straat gemeten. De resultaten van de meting buiten de woning waarbij de deur van de ruimte met de rookmelder dicht was, is weergegeven in tabel 33.

Tabel 33: Resultaten geluidsmetingen, deur ruimte met rookmelder dicht, waarden in dB(A)

		Locatie rookmelder					
		Hal (97dB(A))	Woon- kamer (102dB(A))	Keuken (100dB(A))	Overloop (97dB(A))	Slaap- kamer 1 (97dB(A))	Slaap- kamer 2 (99dB(A))
Locatie meting	Woonkamer buren	34-47	44	42	30	38	40
	Ouderslaapkamer bu- ren	43-54	34	34	43	65	56
	Babykamer buren	43-48	38	36	46	54	57
	Buiten (voordeur) bij ventilatie open	83-85	69	67	75	65	57
	Buiten (voordeur) bij ventilatie dicht	68-70	73	57	69	62	48

(... dB(A)): waarde van meting in de ruimte waar de rookmelder hangt

Wanneer de deur dicht is, geeft de rookmelder op de overloop de grootste reductie in de woonkamer van de buren. De gemeten waarde is 30 dB(A). Dit is vergelijkbaar met het geluidsniveau in een bibliotheek. Zeker bij achtergrondgeluid in de woonkamer van de buren zal de rookmelder die in alarm is gegaan in de woning naast hen niet worden opgemerkt. Ook de rookmelder in de hal geeft in de woonkamer van de buren een lage waarde. In de twee uitgevoerde metingen is de laagst gemeten waarde 34 dB(A). In de slaapkamers van de buren variëren de gemeten waarden van de rookmelder op de overloop tussen 43 en 46 dB(A). Ter hoogte van de voordeur geeft de rookmelder in de hal een geluidsterkte van circa 83-85 dB(A) als de ventilatie openstaat, en 68-70 dB(A) bij gesloten ventilatie. In tabel 34 zijn de resultaten van de metingen met de deuren open weergegeven.

Tabel 34: Resultaten geluidsmetingen, deur ruimte met rookmelder open, waarden in dB(A)

		Locatie rookmelder			
		Woonkamer (102dB(A))	Keuken (100dB(A))	Ouderslaapkamer (97dB(A))	Babykamer (99dB(A))
Locatie meting	WK buren	52	44	39	-
	SLK1 buren	44	31	60-62	51
	SLK2 buren	38	34	47-57	58
	Buiten (voordeur) bij ventilatie open	68	60	79	-
	Buiten (voordeur) bij ventilatie dicht	73	57	66	-

(... dB(A)): waarde van meting in de ruimte waar de rookmelder hangt

- : geen meting uitgevoerd

Met de deur van de rookmelderruimte open, is de geluidsreductie nog steeds meer dan 50% ten opzichte van de vertrekken van de burens. Een uitzondering hierop vormt de ouderslaapkamer ten opzichte van de ouderslaapkamer bij de burens. Hier is de rookmelder het beste hoorbaar, met een geluidsvolume van 60-62 dB(A). Ter referentie, deze geluidsterkte is vergelijkbaar met die van een werkende naaimachine of vaatwasser.

Met de deur van de ruimte waar de rookmelder hangt open, is de geluidsterkte op de begane grond over het algemeen enkele dB(A) hoger dan met de deuren gesloten. Dit hangt echter ook sterk af van de positie van de rookmelder ten opzichte van de gemeten locatie. Met de deuren en ventilatie open zijn de rookmelders van de woonkamer, keuken en slaapkamer op straatniveau van een dusdanig geluidsniveau (circa 70 dB(A)) dat dit hinderlijk is bij telefoneren. Er kan daarom worden aangenomen dat voorbijgangers de rookmelder zouden kunnen opmerken.

#### 5.2.4 Analyse

Uitgaande van de eisen in het Bouwbesluit<sup>65</sup> voor rookmelders in nieuwbouwwoningen, moet de geluidsterkte (volume), gemeten met de deuren dicht, in de slaapkamers<sup>66</sup> ten minste 75 dB(A) zijn en in de overige ruimten ten minste 65 dB(A). Alleen wanneer het geëiste volume niet bereikt wordt, geldt de eis dat de rookmelders gekoppeld moeten worden. De rookmelders moeten zijn geplaatst in de hal en op de overloop. Omdat de semi open keuken een deur naar buiten heeft, is een rookmelder in de woonkamer niet nodig. Met de deuren dicht voldoet de rookmelder in de hal nog net aan de volume-eisen: vanwege de houten vloerconstructie is het volume in de slaapkamers 75 en 76 dB(A), terwijl de eis ten minste 75 dB(A) is. Ondanks dat de woning waarin de testen zijn uitgevoerd klein te noemen is en een geluid doorlatende vloer (hout) heeft, geeft de rookmelder op de overloop een te laag volume in de woonkamer (64 dB(A)) en keuken (56 dB(A)). Om een voldoende volume te bereiken, moeten de rookmelders in de hal en overloop gekoppeld worden. Gezien de bescheiden afmeting van de testwoning betekent dit in de praktijk dat het op basis van de volume-eisen al vrij snel nodig kan zijn om rookmelders te koppelen. Daarnaast kan het koppelen van rookmelders ook wenselijk zijn vanwege een snellere alarmering (zie paragraaf 5.3.3).

De gemeten geluidsterkte (volume) van de rookmelder op de overloop is in de slaapkamers met de deuren dicht gemiddeld 79 dB(A). Het geluid van de rookmelder in de hal is in de woonkamer te horen met een volume van 71 dB(A) en in de keuken met een volume van 66 dB(A). Dat is lager dan de eis van 75 dB(A) die geldt voor slaapkamers. Hoewel de woonkamer en keuken geen slaapvertrekken zijn, wordt wel degelijk in deze ruimten geslapen<sup>67</sup>. De kans dat aanwezigen in de slaapkamers, woonkamer en keuken wakker zullen worden van de gemeten volumes is gering. Uit de literatuur (zie hoofdstuk 3) blijkt namelijk dat 56% van slapende slechthorenden en 43% van jongvolwassenen in de fase van deltaslaap niet wakker worden van een geluid met een volume van 75 dB(A) (en toonhoogte van ongeveer 3100 Hz) op kussenhoogte. Van de jongvolwassenen die onder invloed waren van alcohol is 39% niet gewekt door het alarm en hetzelfde geldt voor 21% van de jongvolwassenen in een minder diepe slaap. Kinderen zullen mogelijk helemaal niet wakker worden van het gemeten geluidssignalen. Uit testen met 6-10 jarigen blijkt dat 43% niet wakker wordt van een geluid met een volume van 89 dB(A) (en toonhoogte van ongeveer 3100 Hz) en wanneer zij zich in de fase van deltaslaap bevinden wordt 42% zelfs niet wakker van een geluid met een volume van 100 dB(A) (en toonhoogte van ongeveer 3100 Hz). Dit is vergelijkbaar met het geluid van een F16A straaljager op 300 meter hoogte.

<sup>65</sup> Bouwbesluit 2012 verwijst door naar NEN 2555. In hoofdstuk 5 staan de volume-eisen. Hierbij is gesteld dat deuren et cetera tijdens de meting gesloten moeten zijn.

<sup>66</sup> In NEN 2555 aangeduid als bedruimte.

<sup>67</sup> Dit wordt bevestigd door de gegevens over fatale woningbranden, zie paragraaf 4.3.2. Daaruit blijkt dat bij de fatale woningbranden met rookmelders slachtoffers tijdens de brand in de woonkamer sliepen. Bij fatale woningbranden zonder rookmelders waren slachtoffers slapend in de keuken.

Rond de leeftijd van 65 jaar treedt doorgaans een gehoorverlies van 30 dB(A) op het frequentieniveau (toonhoogte) van ongeveer 3000 Hz. Dit betekent dat het hoogst gemeten volume van de rookmelder verder reduceert naar 49 dB(A) (in de slaapkamer). Dat is vergelijkbaar met het geluid van regen, een koelkast en van licht autoverkeer op 30 meter afstand. Doordat maar weinig slechthorende ouderen (34%) overdag een hoortoestel dragen en bijna geen enkele slechthorende oudere 's nachts een hoortoestel draagt, zullen zij, zelfs wanneer zij wakker zijn, niet of nauwelijks in staat zijn het geluid van een rookmelder te horen.

Wat betreft de geluidsmetingen van de geluidsterkte (volume) buiten de woning, blijkt dat de rookmelder bij de burens nauwelijks hoorbaar is. In een volledig stille omgeving is het mogelijk dat de burens 'iets' zullen horen van de rookmelder in de verkeersruimte van de naastgelegen woning. De geluidsterkte van circa 40 dB(A) is echter gelijk aan de geluidsterkte welke gebruikelijk is in een huiskamer of slaapkamer (zie tabel 34). Bij enig achtergrondgeluid, zoals een televisie of het voeren van een gesprek, is de kans dat de rookmelder van de burens gehoord wordt klein.

Op straat kan de rookmelder gehoord worden mits het ook daar vrij stil is. Het geluidsvolume (60-70 dB(A)) is weliswaar sterker dan in de woning van de burens, maar niet sterker dan het geluid van een auto op 15 meter afstand. Met andere woorden: in een stille omgeving, bijvoorbeeld 's avonds als er weinig verkeer is, zou een voorbijganger, mits hij geen muziek luistert of telefoneert, de rookmelder kunnen horen en zo gealarmeerd kunnen worden. In een situatie van bedrijvigheid en druk verkeer kan daar niet vanuit gegaan worden.

### 5.2.5 Samenvatting

Uit de geluidstest blijkt dat de rookmelders in de hal en overloop van de testwoning met de deuren dicht niet overal voldoende goed hoorbaar zijn volgens de eisen van het Bouwbesluit. Daarom moeten de rookmelders onderling gekoppeld worden. Gezien de bescheiden afmeting van de testwoning betekent dit in de praktijk dat het op basis van de volume-eisen al vrij snel nodig kan zijn om rookmelders te koppelen. Daarnaast kan het koppelen van rookmelders ook wenselijk zijn vanwege een snellere alarmering.

Voor slaapvertrekken gelden andere volume-eisen dan voor andere ruimten. Omdat in andere ruimten, zoals de woonkamer, wel geslapen kan worden is voor alle ruimten ook gekeken naar de (strengste) volume-eis die geldt voor bedruimten. De rookmelders in de hal en overloop blijkt niet overal voldoende hoorbaar te zijn. De kans dat aanwezigen in de slaapkamers, woonkamer en keuken wakker zullen worden van de gemeten volumes is daarmee gering. Ook in de dag situatie zullen ouderen (65+) vanwege normaal optredend gehoorverlies de rookmelder niet overal goed kunnen horen: het voor hen hoorbare geluid is vergelijkbaar met het geluid van een koelkast. Doordat maar weinig ouderen overdag een hoortoestel dragen en bijna geen enkele 's nachts, zullen zij, zelfs wanneer zij wakker zijn, niet of nauwelijks in staat zijn het geluid van een rookmelder te horen.

Buiten de woning blijken de rookmelders nauwelijks hoorbaar. Bij enig achtergrondgeluid, zoals een televisie of het voeren van een gesprek, is de kans dat de rookmelder van de burens gehoord wordt klein. Op straat kan de rookmelder gehoord worden mits het ook daar vrij stil is. De kans dat voorbijgangers de rookmelder opmerken in een situatie van bedrijvigheid en druk verkeer is zeer klein.



## 5.3 Analyse brandtesten

In de brandtesten zijn verschillende scenario's getest (zie ook paragraaf 2.4.4). In deze paragraaf wordt allereerst een algemene indruk gegeven van het brandverloop van de verschillende testscenario's. Daarbij wordt ook een overzicht gegeven van de maximaal gemeten waarden van de parameters voor ontvluchting en overleefbaarheid. Dit zijn de temperatuur ( $T$ , in °C), de stralingshitte ( $q$ , in kW/m<sup>2</sup>), het zuurstofpercentage ( $O_2$ , in %), de uitstoot van koolstofmonoxide (CO, in ppm) en stikstofoxiden ( $NO_x$ , in ppm). Een uitgebreide toelichting op de gekozen parameters en de grenswaarden is opgenomen in paragraaf 3.4.

Vervolgens worden de meetresultaten voor het overschrijden van de grenswaarden voor ontvluchting en overleefbaarheid besproken. Deze grenswaarden geven inzicht in de hypothetisch beschikbare tijd voor ontvluchting en redding door de brandweer. Dit is hypothetisch omdat voor ontvluchting en redding de voorwaarden zijn dat:

- a. de brand door de slapende aanwezigen wordt opgemerkt door het afgaan van een rookmelder, en
- b. de aanwezigen binnen de beschikbare tijd zelfstandig uit de woning vluchten, en/of
- c. de brandweer binnen de beschikbare redtijd wordt gealarmeerd, ter plaatse is en de redding heeft uitgevoerd.

Tenslotte wordt ingegaan op de alarmtijden van de rookmelders die in de woningen hingen. Daarbij is ook een totaaloverzicht gegeven van de alarmtijden van de rookmelders, de maximale vluchttijd, beide na het ontstaan van de brand, de beschikbare vluchttijd na het ontdekken van de brand door het afgaan van een rookmelder, de maximale tijd voor het overleven van de brand en de beschikbare redtijd na het ontdekken van de brand door het afgaan van een rookmelder.

De beschikbare vluchttijden en redtijden zijn berekend vanuit 4 situaties, namelijk:

- a. de brandsituatie zonder rookmelders (maximale vlucht- of redtijd)
- b. de brandsituatie met ongekoppelde rookmelders in de hal en op de overloop (beschikbare vlucht- of redtijd bij maatregel 1a)
- c. de brandsituatie met gekoppelde rookmelders in de hal en op de overloop (beschikbare vlucht- of redtijd bij maatregel 2)
- d. de brandsituatie met gekoppelde rookmelders in de hal, op de overloop en in de brandruimte (beschikbare vlucht- of redtijd bij maatregel 3).

### 5.3.1 Beschrijving van het brandverloop

Onderstaande beschrijvingen van het brandverloop zijn grotendeels ontleend<sup>68</sup> aan Hazebroek e.a., 2015.

#### Test 1 – Brand in bed in ouderslaapkamer, deuren dicht



In test 1 is de brand ontstoken in een bed in de ouderslaapkamer. De ramen en de deuren van de slaapkamers zijn dicht. Alleen de ramen van de ouderslaapkamer staan op een kier. De deur van de woonkamer is dicht.

De brand wordt in het experiment aangestoken op de punt van het bed. Binnen een minuut na aansteken zijn er vlammen van 5 centimeter hoogte zichtbaar op de hoek van het bed waar de brand is aangestoken. Twee minuten na de brand is er al een duidelijke rooklaag zichtbaar in de ruimte en is het dekbed zichtbaar aan het uitgassen. Vier minuten na de start van de brand zijn de hoogtemarkers nauwelijks meer zichtbaar door de dichte rook en staan er vlammen van 1 meter hoogte op het dekbed. Op de ouderslaapkamer is dan ook sprake van een snel ontwikkelende brand. Binnen enkele minuten na het begin van de brand is er sprake van een niet overleefbare situatie in de ouderslaapkamer. De brand is niet volledig tot ontwikkeling (flashover) gekomen. Na een snelle stijging van de temperatuur naar bijna 300 °C daalt deze ook snel weer. De brand is vermoedelijk getemperd door een gebrek aan zuurstof. De brand heeft een volledig uur gewoed voordat er interventie door de veiligheidsploeg heeft plaatsgevonden. Op dat moment blijkt de brand al nagenoeg uit te zijn.

<sup>68</sup> De brandtesten zijn voor een combinatie van onderzoeken uitgevoerd en niet alleen voor het onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders. Sommige foto's die in de beschrijving zijn opgenomen geven het beeld van de situatie na een ingreep in het brandscenario, zoals in de beschrijving van testen 5 en 6 is terug te vinden.

### Test 2 – Brand in friteuse in keuken, woonkamerdeur dicht



In test 2 is de brand ontstoken in een friteuse in de keuken. Er is een open verbinding tussen de keuken en de woonkamer. De buitendeur in de keuken staat half open en de deur van de woonkamer is dicht. De ramen en de deur van de babyslaapkamer zijn dicht. De ramen van de ouderslaapkamer staan op een kier en de deur is open. Na het ontsteken van de friteuse volgt een brand die zich snel ontwikkelt. Binnen twee minuten hangt er een dikke rooklaag tegen het plafond van de keuken, die zich uit begint te breiden naar de woonkamer. De eerste keukenkastjes worden binnen twee minuten door de brand bereikt. De brand in de keuken woedt eerst in de keukenkastjes boven het aanrecht; daarna worden ook de keukenkastjes onder het aanrecht bij de brand betrokken. De rook verspreid zich ook via de constructie (vloer) naar de slaapkamers. Gedurende het scenario slaat de brand door het gipsplafond en begint zich in het dak (van de keuken) te verspreiden zodat er dikke rook onder het pannendak van de keuken naar buiten wordt geperst. Ruim 47 minuten na het ontstaan van de brand dreigt de brand over te slaan naar de kap van de woning en daarom is de veiligheidsploeg gestart met afblussen.

### Test 3 – Brand in bank in woonkamer, woonkamerdeur open



In test 3 is de brand ontstoken in een bank in de woonkamer. De deur van de woonkamer is open. De ramen en de deur van de babyslaapkamer zijn dicht. De ramen van de ouderslaapkamer staan op een kier en de deur is open. Na het ontsteken van de brand in de bank loopt de temperatuur in de woonkamer snel op. Binnen een minuut worden de eerste vlammen boven de bank zichtbaar. Vanaf anderhalve minuut begint zich een rooklaag tegen het plafond te vormen die snel opbouwt. Na 2 minuten bereikt de rooklaag in de woonkamer al de hoogte van 180 cm (vanaf vloer) en is inmiddels naar de hal en overloop verspreid. Naast de bank brandt dan ook het plankje boven de bank. Na ongeveer 5 minuten wordt in de woonkamer een piek in de temperatuur bereikt en daalt de temperatuur, als gevolg van zuurstofgebrek. Op dat moment staat de overloop vol grijs/zwarte rook. Gedurende een volledig uur kan de brand zijn gang gaan. Na 61 minuten wordt ingegrepen door de veiligheidsploeg.

#### Test 4 – Brand in bank in woonkamer, woonkamerdeur dicht



In test 4 is de brand ontstoken in een bank in de woonkamer. De deur van de woonkamer is dicht. De ramen en de deur van de babyslaapkamer zijn dicht. De ramen van de ouderslaapkamer staan op een kier en de deur is open. Na 3,5 minuut worden de eerste vlammen boven de bank zichtbaar. Na 4 minuten begint zich een rooklaag op te bouwen tegen het plafond. Nog 30 seconden later bereikt de rooklaag een hoogte van 180 cm (vanaf vloer). De hele ruimte vult zich met dikke zwarte rook, en de vlammen op de bank nemen af. Na 4,5 minuten komt er lichte rookontwikkeling door de vloer de ouderslaapkamer in. Ongeveer 30 seconden later gebeurt dit ook in de babykamer. Na 7 minuten komt de eerste rook vanuit de ouderslaapkamer de overloop binnengestroomd. Na ruim 58 minuten wordt ingegrepen door de veiligheidsploeg en wordt de keukendeur geopend.

#### Test 5 – Brand in TV in woonkamer, woonkamerdeur open



In test 5 is de brand ontstoken in een televisie in de woonkamer. De deur van de woonkamer is open. Ook de voordeur staat open. De ramen en de deur van de babyslaapkamer zijn dicht. De ramen van de ouderslaapkamer staan op een kier en de deur is open. Na aansteken duurt het ongeveer 2 minuten voor er duidelijke vlammen zichtbaar zijn achter de TV. Een minuut later beginnen ook de stoelen naast de TV uit te gassen en nog een minuut later staan de gordijnen in brand. Bijna 5 minuten na het ontstaan brandt ook de stoel naast de TV en explodeert de beeldbuis. Ongeveer 8 minuten na de start van de brand springt een kleine ruit aan de achterzijde en wordt de brand uitslaand. Nog 7 minuten later springt ook het grote raam, waarna op ongeveer 28 minuten de brandstof grotendeels op is. Hier eindigt de test voor dit onderzoek. Ten behoeve van het andere onderzoek naar brandontwikkeling dat gebruik maakte van dezelfde branden wordt er besloten vuurlast toe te voegen. Na 44,5 minuten is de veiligheidsploeg gestart met de blussing.





In test 6 is de brand ontstoken in een bed in de ouderslaapkamer. De deuren van de slaapkamers staan open en de ramen staan op een kier. De deur van de woonkamer is dicht. De brand wordt ontstoken op een laag hangende hoek van het dekbed welke bijna de grond raakt. Binnen een minuut zijn er vlammen zichtbaar op de bovenzijde van het dekbed. Na 1 minuut en 40 seconden reikt de rooklaag in de ouderslaapkamer tot 180 cm. De ruimte vult zich snel met zwarte rook en er druipen brandende (vloeibare) dekbeddelen op het vloerkleed dat mee begint te branden. Na 2 minuten reikt de rooklaag aan de zijde van de overloop tot op 50 cm van de vloer. Aan de raanzijde is er nog 75 tot 90 cm vrije ruimte. Er staan vlammen van 1 meter hoog op het dekbed. Een minuut later bereiken ze het plafond en iets later begint de rooklaag tegen het plafond te ontsteken. Na ruim 4 minuten neemt de brand in heftigheid af. Na verloop van tijd neemt ook de dichtheid van de rooklaag af. Alleen het bed brandt.

Bij deze brand is omwille van de experimenten van het andere project Rembrand, die gecombineerd zijn uitgevoerd met het voorliggende onderzoek, de brand na 14 minuten beïnvloed. Er is een slaapkamerraam op de babykamer geopend na 14 minuten, en op 21 minuten is de kledingkast tegen het bed geschoven. Na bijna een half uur is de voordeur geopend. Deze activiteiten zijn voor dit onderzoek niet relevant, omdat het zich richt op het afgaan van de rookmelders, hetgeen voor die tijd al is gebeurd.

In tabel 35 (a en b) zijn de ventilatieconfiguraties, de testduur en de maximaal gemeten waarden van de gekozen parameters opgenomen.

Tabel 35a: Ventilatieconfiguraties, testduur en maximaal gemeten waarden

Test-ID	Ruimte	Deur open (o) of dicht (d)	Ventilatie (ramen)	Testduur (mm:ss)	Temperatuur, max, h=180 (°C)	Temperatuur, max, h=50 (°C)	Straling, max, h=50 (kW/m <sup>2</sup> )	Zuurstof, min, h=50 (%)	CO <sub>2</sub> , max, h=50 (ppm)	NO <sub>x</sub> , max, h=50 (ppm)
<b>1</b>	<b>Ouderslaapkamer (*)</b>	<b>d</b>	<b>o</b>	<b>60:00</b>	<b>287</b>	<b>154</b>	<b>4,6</b>	<b>13</b>	<b>4989</b>	<b>80</b>
	Overloop				26	23	0,6	20	545	13
	Babykamer	d	o		24	20	0,2	20	271	7
	Hal				18	18	0,2	21	100	2
	Woonkamer	d	d		18	18	0,1	21	45	1
	Keuken	(d)	d		17	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>2</b>	<b>Keuken (*)</b>	<b>(d)</b>	<b>o</b>	<b>47:43</b>	<b>836</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>
	Woonkamer	d	d		365	168	10,4	6	12500	137
	Hal				32	22	0,6	19	1443	25
	Overloop				31	29	0,7	18	1805	36
	Ouderslaapkamer	o	o		29	27	0,6	18	1985	33
	Babykamer	d	o		27	27	0,7	18	2310	23
<b>3</b>	<b>Woonkamer (*)</b>	<b>o</b>	<b>d</b>	<b>60:54</b>	<b>449</b>	<b>119</b>	<b>5,3</b>	<b>12</b>	<b>3590</b>	<b>88</b>
	Keuken	(o)	d		224	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Hal				122	116	5,6	11	4107	129
	Overloop				167	114	7	11	3943	131
	Ouderslaapkamer	o	d		128	91	2,9	11	3979	123
	Babykamer	d	d		49	42	1	14	2625	47

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten



Tabel 35b: Ventilatieconfiguraties, testduur en maximaal gemeten waarden

Test-ID	Ruimte	Deur open (o) of dicht (d)	Ventilatie (ramen)	Testduur (mm:ss)	Temperatuur, max, h=180 (°C)	Temperatuur, max, h=50 (°C)	Straling, max, h=50 (kW/m <sup>2</sup> )	Zuurstof, min, h=50 (%)	CO, max, h=50 (ppm)	NO <sub>x</sub> , max, h=50 (ppm)
<b>4</b>	<b>Woonkamer (*)</b>	<b>d</b>	<b>d</b>	<b>61:10</b>	<b>688</b>	<b>470</b>	<b>28,7</b>	<b>0</b>	<b>32106</b>	<b>385</b>
	Keuken	(d)	d		327	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Hal				35	28	1,1	17	2829	51
	Overloop				37	34	1,8	N/A	2208	N/A
	Ouderslaapkamer	o	d		31	31	1,3	N/A	2242	N/A
	Babykamer	d	d		30	29	1,2	21	11	1
<b>5</b>	<b>Woonkamer (*)</b>	<b>o</b>	<b>d</b>	<b>28:00</b>	<b>330</b>	<b>62</b>	<b>4,3</b>	<b>21</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
	Keuken	(o)	d		180	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Hal				76	62	2,5	21	8	0
	Overloop				118	86	2,9	21	3	0
	Ouderslaapkamer	o	o		95	65	2,0	21	71	1
	Babykamer	d	o		19	19	0,2	21	15	1
<b>6</b>	<b>Ouderslaapkamer (*)</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>22:00</b>	<b>804</b>	<b>296</b>	<b>46,3</b>	<b>9</b>	<b>13839</b>	<b>77</b>
	Overloop				434	128	7,1	3	21516	181
	Babykamer	o	o		273	105	4,3	4	22448	73
	Hal				15	16	0,3	21	140	1
	Woonkamer	d	d		14	14	0,1	21	442	4
	Keuken	(d)	d		14	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten

### 5.3.2 Overschrijding grenswaarden voor ontvluchting en overleefbaarheid

In deze subparagraaf worden de tijden besproken waarop de grenswaarden voor de kans op ontvluchting en voor de kans op het overleven van de brand als eerste zijn overschreden in een situatie zonder rookmelders in het geval van slapende aanwezigen. De grenswaarden voor 50% van de bevolking zijn de geselecteerde grenswaarden voor de verdere analyse. De tijden waarop de grenswaarden zijn bereikt, zijn berekend vanaf het moment dat de brand is ontstaan. De grenswaarden zijn opgenomen in tabel 36 (a en b).

Voor het bepalen van de maximale vluchttijd is uitgegaan van de situaties in alle ruimten op de vluchtroute van betreffende ruimte tot buiten. Bij de vluchtroute vanuit de ouderslaapkamer wordt dus de situatie op de overloop en in de hal meegewogen. Wanneer de omgevingscondities in de hal als eerste verslechteren, en de grenswaarde voor ontvluchting wordt daar als eerste bereikt, dan geldt het moment waarop in de hal de grenswaarde wordt bereikt voor de maximale vluchttijd. Verder is voor de analyse uitgegaan van de tijden waarop de grenswaarde voor 50% van de bevolking is overschreden. Voor een kleiner deel van de bevolking wordt de grenswaarde al eerder bereikt. In tabel 36 (a en b) zijn daarom ook de momenten weergegeven waarop 11% van de bevolking ( $FED=0,3$ ) en 89% van de bevolking ( $FED=3$ ) niet meer kan vluchten. Dit is echter alleen bekend voor de berekende FED-waarden en is hierna niet geanalyseerd. In bijlage 2 is een uitgebreider overzicht gegeven van tijden voor alle gekozen parameters en is nadere een beschrijving opgenomen van de gemeten grenswaarden.

Er is gekeken naar de FED-waarden voor het effect van hitte en van toxische gassen op mensen. Daarbij is voor de berekening van  $FED_{hitte}$  uitgegaan van een gemeten convectiewaarde (temperatuur) op 1,8 meter hoogte en stralingswaarde op 0,5m hoogte<sup>69</sup>. Bij de  $FED_{tox}$  is uitgegaan van een gemeten CO-concentratie op 0,5m hoogte en een berekende waarde van 1% ppm HCN per ppm CO dat op dat moment is vrijgekomen. In de keuken is uitsluitend de temperatuur op 1,8 meter hoogte gemeten en kunnen de FED-waarden niet worden bepaald.

In test 6 wordt in de brandruimte (ouderslaapkamer) het snelst de grenswaarde voor ontvluchting bereikt, te weten na ruim 2,5 minuten na het ontstaan van de brand. Op dat moment is het zuurstofgehalte in de ruimte lager dan 13%. In test 5 (brand in TV in woonkamer) blijven de omgevingscondities voor het vluchten in de brandruimte het langst goed, namelijk iets meer dan 6,5 minuten. Net als in de andere brandruimten, met uitzondering van de ouderslaapkamer in test 6, is de temperatuur bepalend voor het verslechteren van de vluchtmogelijkheid. In de testen waarin de brand op de verdieping (ouderslaapkamer) is ontstaan en in de test met de TV-brand in de woonkamer, blijft de vluchtmogelijkheid op de begane grond goed tot het einde van de test. Op de verdieping moet binnen 37 minuten gevlucht zijn in de situatie waarin de slaapkamerdeuren dicht waren (test 1). In de situatie waarin de slaapkamerdeuren open waren (test 6), is op de verdieping maar net iets meer dan 2,5 minuten tijd voor ontvluchting. In de overige testen waarin de brand op de begane grond ontstaat, heeft men op de verdieping in het gunstigste geval 26 minuten tijd om te vluchten (test 2, keukenbrand) en in het slechtste geval 6 minuten (test 3, brand in bank in woonkamer, woonkamerdeur open). Het is opvallend dat in de brandruimte bij de twee testen met brand in de ouderslaapkamer (test 1 en 6) al binnen iets meer dan 4 minuten de grenswaarde voor overleven wordt bereikt, beiden vanwege hitte. Bij de twee testen met brand in de bank in de woonkamer (test 3 en 4) lopen aanwezigen in de brandruimte al binnen 15 minuten ernstige gezondheidsschade op vanwege een te hoge concentratie stikstofdioxide (NO). In de andere twee testen (brand in apparatuur, namelijk friteuse in keuken en TV in woonkamer) moet binnen ongeveer 30 minuten gevlucht worden om de brand te kunnen overleven (keukenbrand), of blijven de omgevingscondities tot het einde van de test<sup>70</sup> goed (TV-brand).

<sup>69</sup> Op 1,8m hoogte is de straling niet gemeten.

<sup>70</sup> Na 28 minuten is de vuurlast in de woonkamer gewijzigd vanwege een gecombineerd experiment, waardoor ook de bank bij de brandhaard wordt betrokken. Binnen een minuut daarna wordt de grens voor overleven in de gehele woning bereikt.

Tabel 36a: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting en redding

Test-ID	Ruimte	Moment grens ontvluchting bereikt voor 11%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 89%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens overleven bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt
1	Ouderslaapkamer (*)	>		<b>04:04</b>	<b>FEDhitte</b>	>		<b>04:07</b>	<b>T</b>
1	Overloop	>		<b>37:10</b>	<b>CO</b>	39:00	FEDtox	-	
1	Babykamer	>		<b>37:10</b>	<b>CO</b>	39:00	FEDtox	-	
1	Hal	-		<b>max</b>	-	-		-	
1	Woonkamer	-		<b>max</b>	-	-		-	
1	Keuken	-		<b>max</b>	-	-		-	
2	Keuken (*)	N/A		<b>05:30</b>	<b>T**</b>	** 71		** 71	
2	Woonkamer	13:36	FEDhitte	<b>16:12</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	18:12	FEDtox	22:24	CO
2	Hal	25:57	FEDtox	<b>25:58</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:46	CO
2	Overloop	25:57	FEDtox	<b>25:58</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:33	CO
2	Ouderslaapkamer	>		<b>25:39</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:21	CO
2	Babykamer	>		<b>25:58</b>	<b>CO</b>	43:21	FEDtox	47:29	CO
3	Woonkamer (*)	03:19	FEDhitte	<b>04:26</b>	<b>FEDhitte</b>	04:50	FEDhitte	14:45	NO
3	Keuken	03:19	FEDhitte	<b>04:26</b>	<b>FEDhitte</b>	≤04:50	FEDhitte	N/A	
3	Hal	>		<b>06:09</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:09	NO
3	Overloop	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:00	NO
3	Ouderslaapkamer	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:54	NO
3	Babykamer	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	39:48	CO

(\*) = Brandruimte; N/A=niet aanwezig/niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt; >=zie volgende grenswaarde; T=temperatuur; q = straling; O<sub>2</sub>=zuurstof; CO=AEGL-CO; NO=AEGL-NO; \*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald

<sup>71</sup> In de keuken is uitsluitend temperatuur gemeten. Daarom zijn de FED-waarden niet te berekenen. Wel is aannemelijk dat het bereiken van de grenswaarden voor ontvluchting voor 89% van de bevolking kleiner is dan 18:12 en voor overleven kleiner dan 22:24 (beide waarden van de woonkamer).

Tabel 36b: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting en redding

Test-ID	Ruimte	Moment grens ontvluchting bereikt voor 11%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 50%		Moment grens ontvluchting bereikt voor 89%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens overleven bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt
4	Woonkamer (*)	03:50	FEDhitte	<b>04:36</b>	<b>FEDhitte</b>	05:08	FEDhitte	13:48	NO
4	Keuken	03:50	FEDhitte	<b>04:36</b>	<b>FEDhitte</b>	≤05:08	FEDhitte	N/A	
4	Hal	>		<b>23:18</b>	<b>NO</b>	39:15	FEDtox	45:36	CO
4	Overloop	>		<b>15:57</b>	<b>NO</b>	31:00	FEDtox	33:51	CO
4	Ouderslaapkamer	>		<b>15:15</b>	<b>NO</b>	>		16:55	NO
4	Babykamer	>		<b>15:57</b>	<b>NO</b>	31:00	FEDtox	-	
5	Woonkamer (*)	>		<b>06:20</b>	<b>FEDhitte</b>	07:29	FEDhitte	-	
5	Keuken	>		<b>06:20</b>	<b>FEDhitte</b>	≤07:29	FEDhitte	N/A	
5	Hal	23:19	FEDhitte	<b>max</b>		-		-	
5	Overloop	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
5	Ouderslaapkamer	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
5	Babykamer	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
6	Ouderslaapkamer (*)	02:34	FEDhitte	<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	>		02:51	q
6	Overloop	>		<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	>		03:09	O <sub>2</sub>
6	Babykamer	>		<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	03:21	FEDhitte	03:36	O <sub>2</sub>
6	Hal	-		<b>max</b>		-		-	
6	Woonkamer	-		<b>max</b>		-		-	
6	Keuken	-		<b>max</b>		-		-	

(\*) = Brandruimte; N/A=niet aanwezig/niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt; >=zie volgende grenswaarde; T=temperatuur; q = straling; O<sub>2</sub>=zuurstof; CO=AEGL-CO; NO=AEGL-NO; \*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald

Wanneer iemand de brand niet opmerkt of fysiek niet in staat is om te vluchten, bestaat alleen in de testen waarbij de brand op de verdieping ontstaat (test 1 en 6) en de test met de TV-brand (test 5) in alle vertrekken op de begane grond een goede kans op het overleven van de brand. In test 1 en 5 kan men ook op de verdieping – met uitzondering van de brandruimte (test 1) – de brand overleven. In de andere vier testen, die op de begane grond ontstaan, is de grenswaarde voor overleven, behalve in de babykamer in test 4, binnen bijna 48 minuten (test 2, keukenbrand) tot 15 minuten (test 3, brand in bank in woonkamer) bereikt.

### 5.3.3 Effect rookmelders op overleving en ontvluchting





In iedere ruimte hing(en) één of meerdere rookmelders. De beschikbare vluchttijden en redtijden zijn geanalyseerd vanuit 6 situaties.

1. *De brandsituatie zonder rookmelders*  
Dit is de hypothetisch beschikbare vluchttijd omdat op basis van de literatuur (zie paragraaf 3.3.2) aangenomen wordt dat de aanwezigen niet gealarmeerd worden door andere signalen dan geluid en bij het ontbreken van een rookmelder dus niet wakker zullen worden (kolom 'maximale vluchttijd').
2. *De brandsituatie met ongekoppelde rookmelders in de hal en op de overloop*  
Dit is de situatie in woningen ouder dan het bouwjaar 2003 en waarin op eigen initiatief rookmelders zijn geplaatst (kolom 'maatregel 1a'). De vluchttijd is hier berekend door het verschil te berekenen tussen de maximale vluchttijd (theoretisch op basis van de grenswaarden) en het moment van afgaan van de rookmelder in de hal of overloop (vanuit de verdieping) en/of de hal (vanuit de begane grond). Indien dit verschil kleiner dan 0 is, dan is in de tabel 0 (roodgekleurd) weergegeven.
3. *De brandsituatie met ongekoppelde thermische melders in plaats van optische rookmelders in de verkeersruimten*  
Dit is de situatie in woningen conform maatregel 1b (kolom 'maatregel 1b').
4. *De brandsituatie met ongekoppelde optische rookmelders in de hal en op de overloop waarbij de binnendeur(en) zijn gesloten.*  
Hierbij wordt gekeken naar het effect van het sluiten van binnendeuren op alarmering en ontvluchting.
5. *De brandsituatie met gekoppelde optische rookmelders in de hal en op de overloop*  
Dit is de situatie in woningen met het bouwjaar 2003 of later, of in oudere woningen conform maatregel 2 (kolom 'maatregel 2').
6. *De brandsituatie met gekoppelde optische rookmelders in de hal, op de overloop en in de brandruimte*  
Dit is de situatie in woningen conform maatregel 3 (kolom 'maatregel 3').

In tabel 37 is een totaaloverzicht gegeven van de alarmtijden van de eerste optische rookmelder en thermische melder die in alarm gingen. Verder is de maximale vluchttijd, beide na het ontstaan van de brand, de beschikbare vluchttijd na het ontdekken van de brand door het afgaan van een rookmelder, de maximale tijd voor het overleven van de brand en de beschikbare redtijd na het ontdekken van de brand door het afgaan van een rookmelder in de tabel opgenomen. De resultaten van de maatregelen zijn af te lezen in tabel 37. De vluchttijd is hier berekend door het verschil te berekenen tussen de maximale vluchttijd (theoretisch op basis van de grenswaarden) en het moment van afgaan van de rookmelder in de brandruimte. Indien dit verschil kleiner dan 0 is, dan is in de tabel '0' (roodgekleurd) weergegeven.

Tabel 37: Overzicht alarmtijden, vluchttijden en redtijden

#### LEGENDA

	Beschikbare tijd korter dan 1 minuut
	Beschikbare tijd korter dan 5 minuten
	Beschikbare tijd korter dan 15 minuten
	Beschikbare tijd langer dan 15 minuten

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten; NIET = niet afgegaan; max = niet tot einde test;

(!) = berekend op basis van thermische melder op overloop

Test-ID	Ruimte	Deur open (o) of dicht (d)	Rookmelders			Ontvluchting				Redding			
			Alarm optisch 1	Alarm optisch 2	Alarm thermisch	Maximale vluchtijd uit ruimte (via overloop / hal)	Maatregel 1: ongekoppelde rookmelders in verkeersruimten	Maatregel 2: gekoppelde rookmelders in verkeersruimten	Maatregel 3: gekoppelde rookmelders, ook in brandruimte	Grenswaarde overleefbaarheid bereikt	Maatregel 1: ongekoppelde rookmelders in verkeersruimten	Maatregel 2: gekoppelde rookmelders in verkeersruimten	Maatregel 3: gekoppelde rookmelders, ook in brandruimte
1	Ouderslaapkamer (*)	d	00:35	01:19	N/A	04:04	00:02	00:02	03:39	04:07	00:05	00:05	03:32
1	Overloop		04:02	04:37	NIET	37:10	33:08	33:08	36:35	max	max	max	max
1	Babykamer	d	18:22	18:27	NIET	37:10	33:08	33:08	36:35	max	max	max	max
1	Hal		14:53	N/A	NIET	max	max	max	max	max	max	max	max
1	Woonkamer	d	NIET	N/A	NIET	max	max	max	max	max	max	max	max
1	Keuken		NIET	N/A	NIET	max	max	max	max	max	max	max	max
2	Keuken (*)		00:10	N/A	04:00	05:30	0	0	05:20	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Woonkamer	d	01:52	N/A	05:58	16:12	08:57	08:57	14:20	22:24	15:09	15:09	22:14
2	Hal		07:15	N/A	NIET	25:58	18:43	18:43	25:48	47:46	40:31	40:31	47:36
2	Overloop		13:24	13:44	N/A	25:58	12:34	18:43	25:48	47:33	34:09	40:18	47:23
2	Ouderslaapkamer	o	06:56	09:19	N/A	25:39	12:15	18:24	25:29	47:21	33:57	40:06	47:11
2	Babykamer	d	07:56	08:50	N/A	25:58	12:34	18:43	25:48	47:29	34:05	40:14	47:19
3	Woonkamer (*)	o	01:20	N/A	02:21	04:26	02:25	02:25	03:06	14:45	12:44	12:44	13:25
3	Keuken		01:59	N/A	03:11	04:26	02:25	02:25	03:06	N/A	N/A	N/A	N/A
3	Hal		02:01	N/A	03:40	06:09	04:08	04:08	04:49	14:09	12:08	12:08	12:49
3	Overloop		NIET(!)	N/A	04:45	05:54	01:09(!)	03:53	03:53	14:00	09:15(!)	11:59	12:40
3	Ouderslaapkamer	o	03:07	N/A	04:59	05:54	01:09(!)	03:53	03:53	14:54	10:09(!)	12:53	13:34
3	Babykamer	d	07:21	N/A	NIET	05:54	01:09(!)	03:53	03:53	39:48	35:03(!)	37:47	38:28
4	Woonkamer (*)	d	01:35	N/A	02:35	04:36	02:03	02:03	03:01	13:48	11:15	11:15	12:13
4	Keuken		02:24	N/A	03:28	04:36	02:03	02:03	03:01	N/A	N/A	N/A	N/A
4	Hal		02:33	N/A	50:28	23:18	20:45	20:45	21:43	45:36	43:03	43:03	44:01
4	Overloop		06:53	N/A	55:00	15:57	09:04	13:24	14:22	33:51	26:58	31:18	32:16
4	Ouderslaapkamer	o	03:37	N/A	59:37	15:15	08:22	12:42	13:40	16:55	10:02	14:22	15:20
4	Babykamer	d	03:06	N/A	N/A	15:57	09:04	13:24	14:22	max	max	max	max
5	Woonkamer (*)	o	02:21	N/A	03:30	06:20	03:00	03:00	03:59	29:16	25:56	25:56	26:55
5	Keuken		04:17	N/A	NIET	06:20	03:00	03:00	03:59	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Hal		03:20	N/A	06:17	max	max	max	max	max	max	max	max
5	Overloop		09:10	N/A	06:10	14:17	05:07	10:57	11:56	max	max	max	max
5	Ouderslaapkamer	o	04:47	N/A	06:20	14:17	05:07	10:57	11:56	max	max	max	max
5	Babykamer	d	NIET	N/A	NIET	14:17	05:07	10:57	11:56	max	max	max	max
6	Ouderslaapkamer (*)	o	00:43	N/A	01:40	02:42	01:30	01:30	01:59	02:51	01:39	01:39	02:08
6	Overloop		01:12	N/A	NIET	02:42	01:30	01:30	01:59	03:09	01:57	01:57	02:26
6	Babykamer	o	01:24	N/A	03:37	02:42	01:30	01:30	01:59	03:36	02:24	02:24	02:53
6	Hal		08:03	N/A	N/A	max	max	max	max	max	max	max	max
6	Woonkamer	d	23:31	N/A	N/A	max	max	max	max	max	max	max	max
6	Keuken		30:58	N/A	N/A	max	max	max	max	max	max	max	max



In de brandruimten varieert de alarmtijd van 10 seconden (test 2, keukenbrand) tot bijna 2,5 minuten (test 5, brand in TV in woonkamer). Hoewel de rookmelders in alle testen nabij de brandhaard zijn geplaatst, gaat de rookmelder in de woonkamer pas na bijna 1,5 minuten tot bijna 2,5 minuten af terwijl in de kleinere ruimten (ouderslaapkamer en keuken) de rookmelder binnen 45 seconden in alarm is gegaan.

In de testen waar de brand in de woonkamer is ontstaan, is de rookmelder in de hal na 2 tot bijna 3,5 minuten afgegaan. In de twee testen waarbij de bank in de woonkamer in brand is gegaan (test 3 en 4) is de rookmelder in de hal ongeveer een halve minuut later afgegaan toen de deur van de brandruimte dicht was. Dit verschil in detectie bij een gesloten deur is in de testen met de brand in de ouderslaapkamer bijna 3 minuten voor de rookmelder op de overloop.

In een aantal ruimten is de rookmelder helemaal niet in alarm gegaan. Dit is het geval in de woonkamer en keuken bij de testen met de ouderslaapkamer als brandruimte. In deze testen heeft de rook zich niet naar de betreffende ruimte verspreid. De belangrijkste factor is dat de ruimten zich op een lager gelegen verdieping bevinden dan de brandruimte. Verder was de deur van de betreffende ruimte dicht. Ook in de babykamer in test 5 (brand in TV in woonkamer) is de rookmelder niet in alarm gegaan. In deze test was de deur van de brandruimte open en de deur van de babykamer dicht. In test 4 (brand in bank in woonkamer) is de rookmelder in de babykamer wel in alarm gegaan, terwijl de deur dicht was. Uit de camerabeelden blijkt dat bij die brand de rook zich via de vloer heeft verspreid naar de bovenverdieping. In test 3 (brand in bank in woonkamer) is de rookmelder op de overloop niet afgegaan, terwijl de rookmelders in de ouderslaapkamer en de babykamer wel zijn afgegaan. Vermoedelijk was de rookmelder defect<sup>72</sup>. Na 5 minuten is de overloop namelijk volledig gevuld met grijs/zwarte rook.

In de testen waar de brand op de begane grond is ontstaan, is de rookmelder op de overloop pas na 7 minuten (test 4) tot 13,5 minuten (test 2) afgegaan<sup>73</sup>. Wanneer de rookmelders in de hal en overloop niet zijn gekoppeld, kan dit betekenen dat de (slapende) aanwezigen in de kamers op de verdieping de rookmelder in de hal niet goed kunnen horen (zie ook paragraaf 5.2). Daardoor zullen zij de brand opmerken wanneer de rookmelder op de overloop afgaat. Dat is wanneer de rook zich van de hal naar de overloop heeft verspreid en de kans op ontvluchting daardoor sterk zal zijn afgenomen. Verder is de temperatuur in de brandruimte op het moment dat de rookmelder op de overloop afgaat al ongeveer 280 °C (test 5) tot 400 °C (test 2) geweest.

Voor een overzicht van alle alarmtijden van de optische rookmelders in ruimten waarin meerdere rookmelders aanwezig waren, wordt verwezen naar tabel 48 in bijlage 3. Daarin is, naast de alarmtijden van de optische rookmelders in de brandruimten, de verkeersruimten en (overige) ruimten met meerdere optische rookmelders, ook het verschil in alarmtijden weergegeven. De verschillen worden hierna kort toegelicht.

In test 1, waarbij de brand is ontstaan in de ouderslaapkamer, hingen twee rookmelders in de brandruimte, op de overloop en in de babykamer. De rookmelders hingen in het midden van de ruimte en op ongeveer 40 centimeter afstand van elkaar. De deur van de brandruimte was dicht. In de brandruimte (ouderslaapkamer) ging de eerste rookmelder na 35 seconden af en is de tweede rookmelder 44 seconden later in alarm gegaan. Op de overloop ging de eerste rookmelder na ruim 4 minuten af en de tweede 35 seconden later. De rookmelders in de babykamer zijn beide pas na ongeveer 18,5 minuten afgegaan, met een verwaarloosbaar verschil van 5 seconden tussen beide rookmelders.

<sup>72</sup> De thermische rookmelder naast de optische rookmelder is wel afgegaan. Daarnaast waren er voor productontwikkeling ook nog andere rookmelders aanwezig (geen onderdeel van dit project). Ook deze rookmelders zijn afgegaan, bijna op hetzelfde moment als de thermische melder. Daarom is de tijd van de thermische melder aangehouden als tijd voor de optische rookmelder.

<sup>73</sup> Met uitzondering van de rookmelder in test 3, die niet is afgegaan vanwege een defect.

In test 2 is de brand ontstaan in de keuken, die in open verbinding staat met de woonkamer. De deur van de woonkamer was dicht. In de ruimten op de bovenliggende verdieping hingen twee optische rookmelders, op dezelfde locaties als in test 1. De rookverspreiding naar de bovenliggende verdieping vond plaats via de vloerconstructie. Dat verklaart waarom de rookmelder op de overloop later is afgegaan dan de rookmelders in de slaapkamers. De eerste rookmelder op de overloop is na ongeveer 13,5 minuten afgegaan en de tweede ging 20 seconden later in alarm. Het verschil in alarmtijden van de twee rookmelders in de babykamer (deur dicht) is 54 seconden en in de ouderslaapkamer (deur open) is het verschil bijna 3,5 minuten.

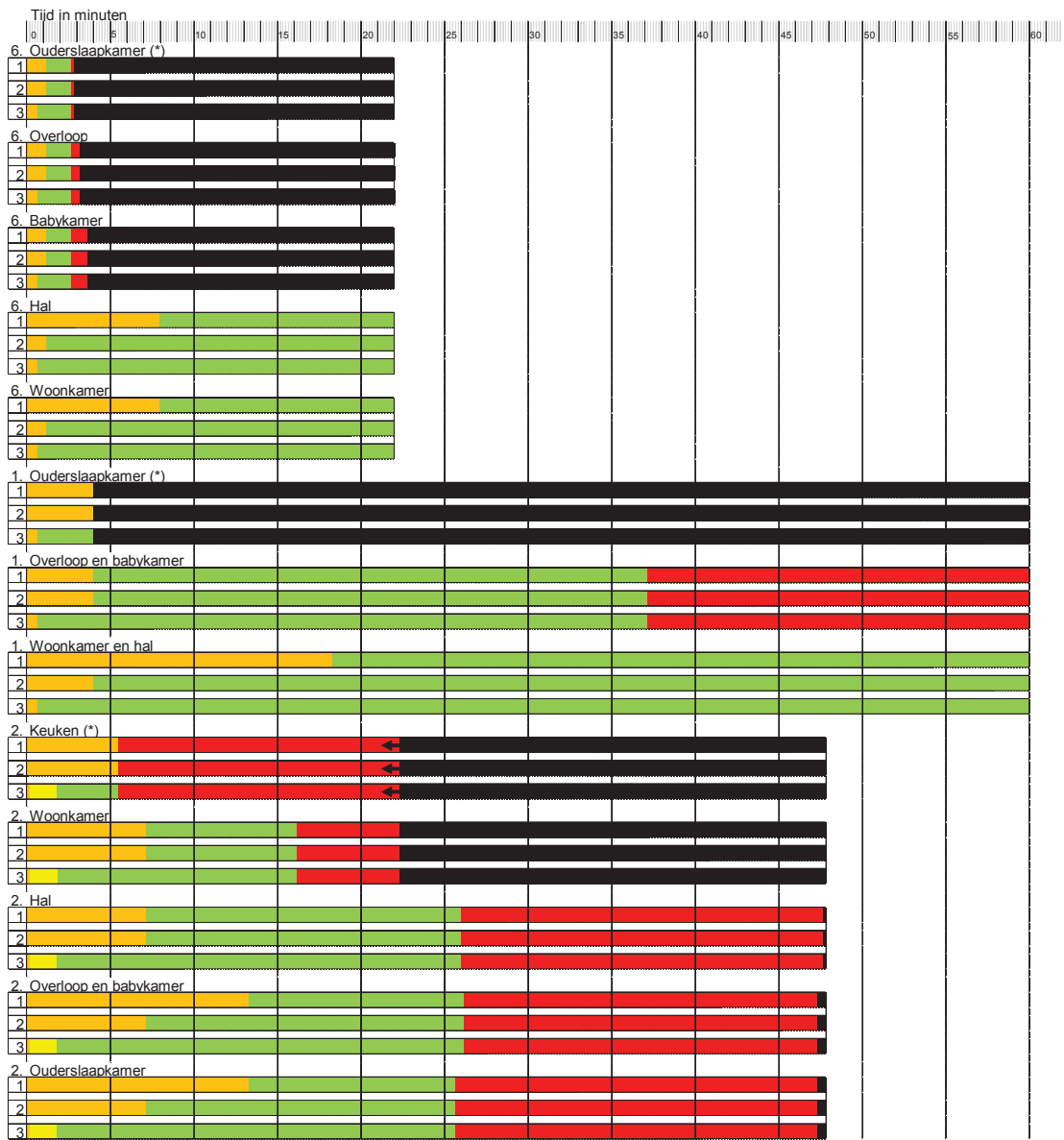
Hoewel de 3,5 minuten latere detectie de ontvluchttingskansen sterk nadelig kan beïnvloeden, is het verschil in alarmtijd op zich niet opmerkelijk. In eerdere brandtesten zijn bijvoorbeeld verschillen tot bijna 1,5 minuten tussen twee optische rookmelders waargenomen in de brandruimte, tot ruim 4,5 minuten in de hal en tot bijna 6,5 minuten in een nabij gelegen ruimte (Thomas & Bruck, 2010). Bovendien is het relatief grote verschil in snelheid van detectie in de ouderslaapkamer verklaarbaar, aangezien deze ruimte zich het verst van de brandhaard (keuken) bevindt. Hierdoor is het mogelijk dat de rook al enigszins was afgekoeld op het moment dat het via de vloer in de ouderslaapkamer werd geperst. Verder stond de deur van de ouderslaapkamer open, zodat er waarschijnlijk sprake was luchtstroming als gevolg van de ventilatie. Beide aspecten, namelijk de afgekoelde rook en de luchtstroming, kunnen ervoor zorgen dat de rook al wel de ene rookmelder bereikt, maar nog niet de andere.

In de volgende subparagraaf worden de beschikbare vlucht- en redtijden na het afgaan van de rookmelder per maatregel besproken. Het gaat dan om het effect van maatregel 1a, namelijk de situatie met ongekoppelde rookmelders in de hal en op de overloop, het effect van maatregel 1b, wanneer de ongekoppelde optische rookmelder wordt vervangen door een thermische melder en het effect van maatregel 1c, namelijk het effect van het sluiten van binnendeuren bij ongekoppelde optische rookmelders. Verder wordt het effect van maatregel 2 besproken, dat is de vergelijking tussen de situatie met gekoppelde rookmelders in de verkeersruimten met de situatie met ongekoppelde rookmelders in de verkeersruimten. Aansluitend wordt het effect van maatregel 3 besproken, namelijk de vergelijking van de situatie met gekoppelde rookmelders in de hal, op de overloop en in de brandruimte met de situatie met ongekoppelde rookmelders in de verkeersruimten.

In figuren 22 en 23 zijn de resultaten uit de brandtesten visueel samengevat. In de eerste figuur zijn de resultaten van de branden in de slaapkamer en de keuken weergegeven. Per ruimte zijn 3 gekleurde staven zichtbaar. Staaf '1' laat de situatie bij maatregel 1a zien, namelijk waar de rookmelders in de verkeersruimten hangen en onderling niet gekoppeld zijn. Staaf '2' correspondeert met de situatie bij maatregel 2, dat is waar de rookmelder in de verkeersruimten onderling gekoppeld zijn. Staaf '3' laat de situatie bij maatregel 3 zien, oftewel de situatie waarin behalve in de verkeersruimten ook een rookmelder in de brandruimte hangt en deze onderling gekoppeld zijn.

**LEGENDA**

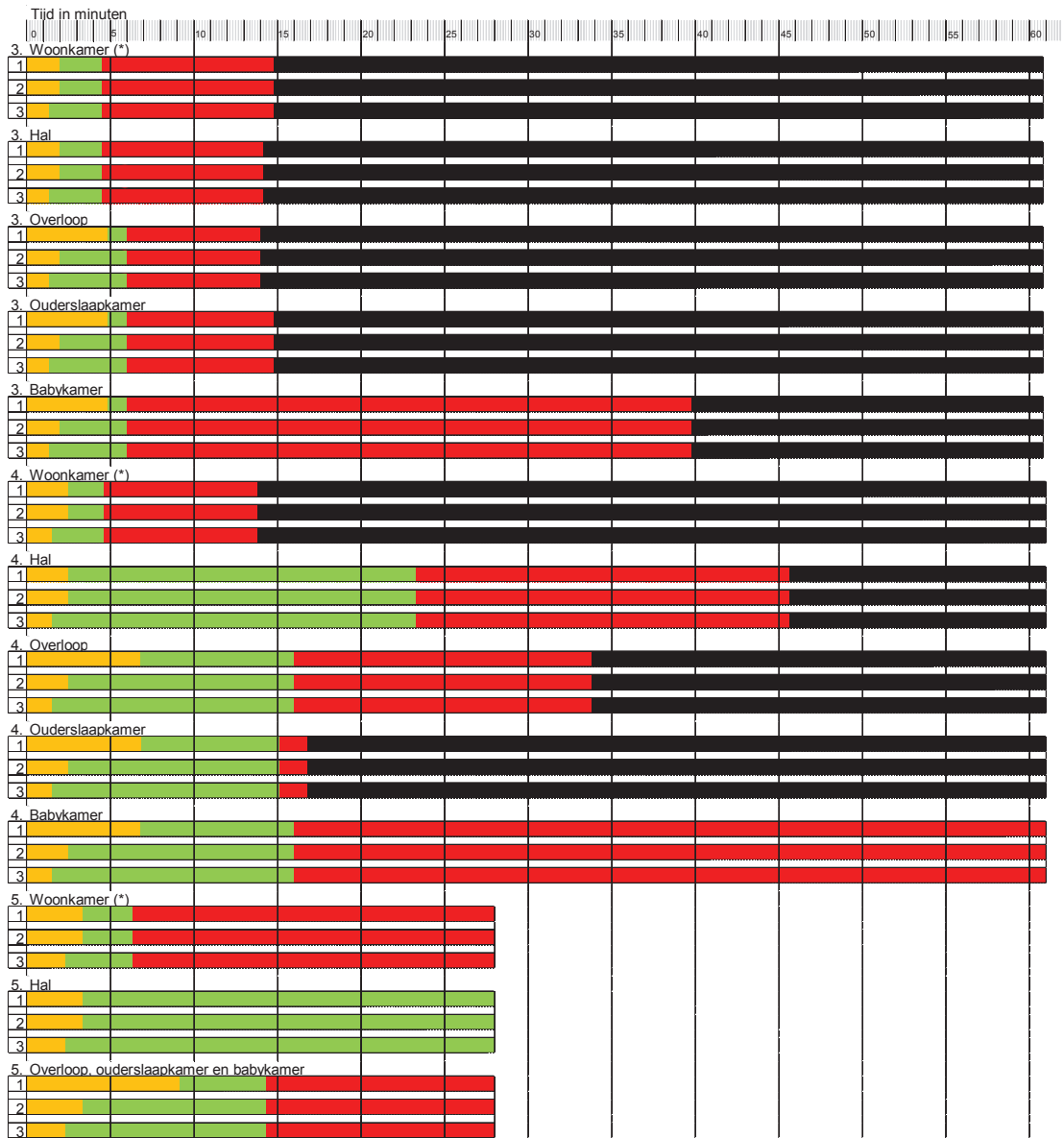
- Brand in ontwikkeling, nog niet gedetecteerd
- Vluchttijd na afgaan rookmelder in keuken (alleen bij test 2)
- Vluchttijd na afgaan rookmelder
- Grenswaarde ontvluchting bereikt
- Grenswaarde overleefbaarheid bereikt



Figuur 22: Vlucht- en redmogelijkheden bij brand in slaapkamer (test 6 en 1) of keuken (test 2)

**LEGENDA**

- Brand in ontwikkeling, nog niet gedetecteerd
- Vluchttijd na afgaan rookmelder
- Grenswaarde ontvluchting bereikt
- Grenswaarde overleefbaarheid bereikt



Figuur 23: Vlucht- en redmogelijkheden bij brand in woonkamer, in bank (test 3 en 4) of TV (test 5)

Hierna worden de figuren per uitgangssituatie en maatregel op hoofdlijnen besproken. Voor een uitvoerige beschrijving van de aannames voor de analyse en van de beschikbare vlucht- en redtijden wordt verwezen naar bijlage 3.

### **Maatregel 1a: Ongekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten**

In de testen die op de verdieping zijn ontstaan (test 1 en 6), is sprake van een snelle brandontwikkeling, waardoor na het afgaan van de rookmelder in de verkeersruimte in de brandruimte geen tot ongeveer 1,5 minuten beschikbaar is om te vluchten. Daarna is ook al snel de grenswaarde voor overleefbaarheid bereikt. De kans dat mensen deze branden overleven, wanneer zij zich slapend in de brandruimte bevinden, is (zeer) klein. In test 6, waarin alle binnendeuren op de verdieping open stonden, is de kans op ontvluchting en overleven ook in de andere ruimten op de verdieping maar (zeer) klein. In test 1 is in de andere slaapkamer geruime tijd beschikbaar voor ontvluchting. Op de begane grond worden in beide testen de grenswaarden voor ontvluchting en redding niet bereikt.

Bij de brand die in de keuken ontstaat, moeten de aanwezigen op de bovenliggende verdieping binnen 12,5 minuten vluchten of binnen ongeveer 34 minuten gered worden. Voor de mensen in de brandruimte zelf gaat de rookmelder te laat af en in de aangrenzende woonkamer is na het afgaan van de rookmelder nog 9 minuten beschikbaar om te vluchten. Lukt dit niet, dan moeten mensen in de woonkamer binnen ruim een kwartier na het afgaan van de rookmelder gered worden.

Bij de overige branden die op de begane grond ontstaan (testen 3, 4 en 5) moeten mensen in de brandruimten binnen 2 tot 3 minuten nadat de rookmelder afgaat gevlucht zijn. Op de bovenliggende verdieping is maximaal 8,5 minuten (test 4) tot 1,5 minuten (test 3) beschikbaar voor ontvluchting. In alle drie testen wordt de grenswaarde voor overleefbaarheid in de babykamers en in test 5 in alle ruimten niet bereikt. In de overige ruimten is na het afgaan van de rookmelder ten minste 9 minuten (test 3) tot einde test (test 5) beschikbaar voor redding.

Er kan geconcludeerd worden dat een ongekoppelde optische rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte nauwelijks effectief is voor mensen in de brandruimte: in 2 testen gaat de rookmelder te laat af om nog te kunnen vluchten. In de testen met brand op de verdieping worden de grenswaarden voor ontvluchting en redding op de onderliggende verdieping niet bereikt. In de testen met brand op de begane grond is vanaf de verdieping ten minste 5 minuten tijd beschikbaar voor ontvluchting.

### **Maatregel 1b: Ongekoppelde thermische melders**

In totaal zijn 9 van de 28 geplaatste thermische melders niet afgegaan. In 7 (25%) van deze gevallen is de daarnaast geplaatste optische rookmelder wel afgegaan. In de andere 2 gevallen zijn zowel de thermische als de optische rookmelder niet afgegaan aangezien de situatie in die ruimte tot het einde van de test ook niet bedreigend is geweest.

Wanneer een ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte wordt vervangen door een thermische, gaat de rookmelder in 4 testen te laat af om aanwezigen in de verblijfsruimten de kans te geven om zelf te vluchten. In de 2 andere testen is na het afgaan van de thermische melder nog voldoende tot ruime tijd beschikbaar voor ontvluchting.

Een thermische melder in de brandruimte geeft betere resultaten ten opzichte van een thermische melder in de verkeersruimte. Na het afgaan van de thermische melder in de brandruimten is nog 1 minuut (test 6) tot bijna 3 minuten (test 5) beschikbaar om zelfstandig te vluchten<sup>74</sup>. Uit de literatuurstudie blijkt dat een optische rookmelder in de keuken vaak leidt

<sup>74</sup> In test 1 is geen thermische rookmelder in de brandruimte geplaatst.

tot hinderlijke activering. In test 2 is de thermische melder daadwerkelijk in de keuken geplaatst. De thermische melder is bijna 4 minuten later afgegaan dan de optische, maar daarna is nog ruim 1,5 minuten over om te vluchten. Voor de overige testen geldt dat, als de betreffende brandruimte de keuken zou zijn, er meer dan 1 minuut vluchttijd beschikbaar is.

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat het zinvol is om een thermische melder alleen op te hangen in ruimten waarin een optische rookmelder een grote kans op hinderlijke activering geeft, zoals in de keuken. In alle overige gevallen, met name in de verkeersruimten, is een thermische melder in woningen zelfs sterk af te raden.

### **Maatregel 1c: Sluiten van binnendeuren**

In het algemeen kan gesteld worden dat in de situaties waarin de deur van de brandruimte dicht is, de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimte langer goed blijven dan wanneer de deur van de brandruimte open staat. Het sluiten van de deur van de brandruimte heeft zelfs een aanzienlijk positief effect op de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimten. Het heeft daarentegen ook een aanzienlijk negatief effect op de snelheid van alarmering en de hoorbaarheid van de rookmelder(s). In het slechtste geval gaat de rookmelder bij een dichte deur ongeveer 4 minuten later in alarm dan wanneer de deur van de brandruimte open staat.

Voor aanwezig in de brandruimte heeft het sluiten van de deur van de brandruimte een aanzienlijk negatief effect. De rookmelder kan bij een dichte deur te laat afgaan om te vluchten of zelfs om gered te kunnen worden, terwijl met de deur open na het alarm nog ten minste 1,5 minuten tijd is om te vluchten.

Bij een houten vloerconstructie (en mogelijk ook bij andere constructies met holle ruimten en/of kleine openingen) bestaat er bovendien kans op rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie wanneer de deur van de brandruimte gesloten is. Ondanks dat daardoor de rookmelder in de verkeersruimte pas afgaat als de rook al in de slaapkamers is, blijkt nog ruime tijd (ten minste 8,5 minuten) om vanaf de verdieping te vluchten.

Wanneer de rookverspreiding wel via de verkeersruimte plaatsvindt, dan leidt alleen het sluiten van de slaapkamerdeur, tot een grotere kans op overleven van de brand, maar niet tot een grotere kans op ontvluchting. Voorwaarden zijn wel 1) dat men tot aan de redding in de ruimte met gesloten deur blijft en de deur tussentijds niet open doet, 2) dat de brandweer weet waar de mensen zijn die gered moeten worden en 3) dat redding van buitenaf plaatsvindt en niet via de hal en overloop. Wanneer ook de deur van de brandruimte gesloten is, dan is ook voor ontvluchting aanzienlijk meer tijd beschikbaar.

### **Maatregel 2: Gekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten**

Wanneer de brand op de verdieping ontstaat (en er geen mensen in een bovenliggende verdieping aanwezig zijn) heeft het koppelen van rookmelders geen effect. De rookmelder die als eerste afgaat hangt immers in de verkeersruimte waar de mensen op verdieping als eerste doorheen moeten vluchten. Wanneer de brand echter op de begane grond ontstaat, heeft het koppelen een groot effect. Met de maatregel is in de brandtesten tot 6 minuten extra tijd voor ontvluchting of redding vanaf de verdieping gewonnen. Voor de ontvluchting en redding op de begane grond heeft de maatregel geen effect. Het koppelen van rookmelders kan desondanks bij veel woningbranden het verschil maken tussen wel of niet zelfstandig kunnen vluchten en soms zelfs tussen leven en dood. Uit de analyse van woningbranden, in de periode 1 juli tot en met 31 december 2014 in de Veiligheidsregio's Drenthe en Noord- en Oost-Gelderland, blijkt namelijk dat het merendeel (72%) van de woningbranden op de begane grond zijn ontstaan.



### Maatregel 3: Gekoppelde optische rookmelders in alle ruimten

Door rookmelders niet alleen in de verkeersruimten, maar ook in alle ruimten waarin brand kan ontstaan en/of waar mensen slapend kunnen verblijven, en de rookmelders onderling te koppelen, kan een enorme tijdswinst geboekt worden voor ontvluchting (en redding). De maatregel heeft vooral effect in de brandruimten waarin de rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte te laat af is gegaan. In de brandtesten is gebleken dat hierdoor niet alleen een tijdswinst tot 5,5 minuten behaald wordt, maar de rookmelder zorgt er juist voor dat er überhaupt gevlucht kan worden. Ook in gevallen waarin de rookgassen niet nabij de rookmelder kan komen, bijvoorbeeld door het effect van rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie, van luchtstroming of doordat de deur van de brandruimte dicht is, zorgt een gekoppelde rookmelder in de potentiële brandruimte voor een aanzienlijk effect. In de situatie zonder rookmelder in de brandruimte, zal de rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte namelijk niet, of niet op tijd, af gaan. In de brandtesten was de tijdswinst in het slechtste geval een halve minuut. Aangezien de beschikbare vluchttijd zonder de maatregel slechts 1,5 minuten is, kan de halve minuut verlenging het verschil maken tussen wel of geen kans op ontvluchting.

Gezien de soms doorslaggevende tijdswinst die voor ontvluchting en redding behaald kan worden, is het plaatsen van gekoppelde rookmelders in de potentiële brandruimten, en in ruimten waarin mensen slapend kunnen verblijven, sterk aan te bevelen.

#### 5.3.4 Samenvatting

In tabel 38 zijn de effecten van de bovenstaande maatregelen bij wijze van samenvatting weergegeven in een tabel.

Tabel 38: Effect van maatregelen op ontvluchting vanuit genoemde ruimten

Maatregel	Brandruimte	Andere ruimten op zelfde verdieping	Bovenliggende verdieping	Onderliggende verdieping
1a: Ongekoppelde optische rookmelder in verkeersruimten	basisniveau	basisniveau	basisniveau	basisniveau
1b: Ongekoppelde thermische melder in brandruimte of verkeersruimten	<b>negatief</b>	<b>negatief</b>	wisselend <sup>75</sup>	<b>negatief</b>
1c: Sluiten van binnendeuren (bij maatregel 1a)	<b>negatief</b>	<b>positief</b> <sup>76</sup>	<b>positief</b> <sup>76</sup>	neutraal <sup>77</sup>
2: Gekoppelde optische rookmelder in verkeersruimten	neutraal	neutraal	<b>positief</b>	neutraal <sup>77</sup>
3: Gekoppelde optische rookmelder in brandruimte en verkeersruimten	<b>positief</b>	<b>positief</b>	<b>positief</b>	neutraal <sup>77</sup>

<sup>75</sup> Eenmaal was er sprake van een neutraal effect, eenmaal van een negatief effect en eenmaal was de optische rookmelder (test 3) vermoedelijk defect waardoor het effect ten opzichte van basisniveau niet bekend is

<sup>76</sup> Voorwaarde dat beide deuren gesloten zijn, van zowel de brandruimte als de verblijfsruimte. Als één van beide deuren gesloten is, is er nauwelijks effect op ontvluchting. Wel is er een grotere kans op overleving.

<sup>77</sup> Beschikbare vluchttijd is bij basisniveau al maximaal en kan niet worden verlengd

Uit tabel 38 blijkt dat thermische rookmelders in plaats van optische rookmelders over het algemeen een negatief effect hebben op het moment van ontvluchting. Thermische rookmelders zijn daarom alleen zinvol als door de omstandigheden in een ruimte (stoom, stof) optische rookmelders te vaak hinderlijk geactiveerd worden.

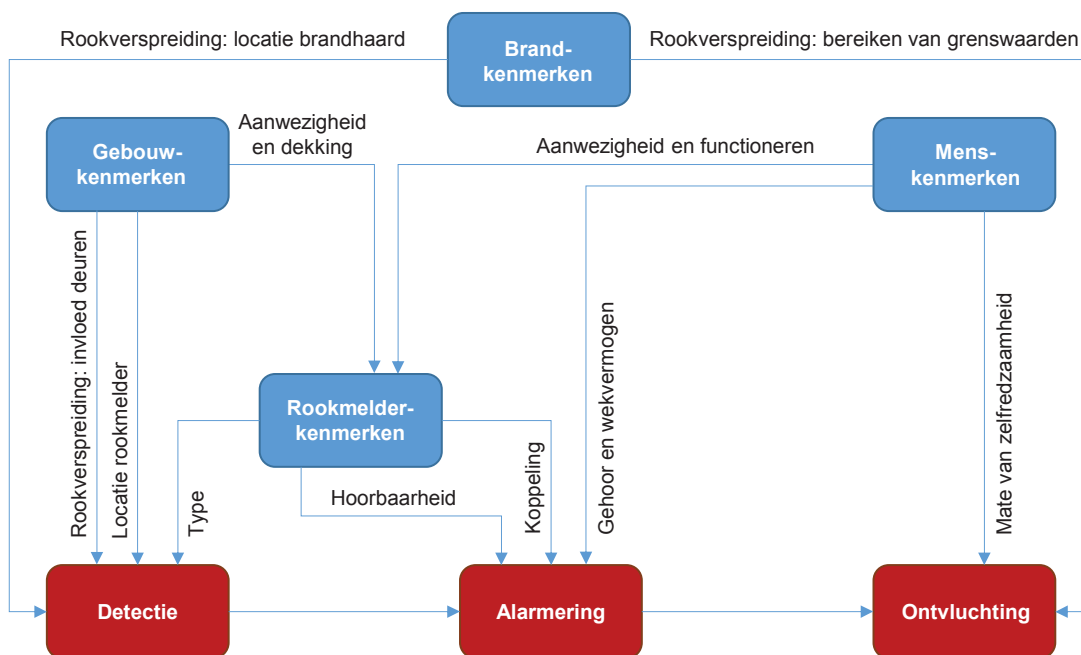
Het sluiten van binnendeuren heeft over het algemeen een positief effect. Dit effect is positief bij vluchten uit een andere ruimte dan de brandruimte, zowel op dezelfde verdieping als op de verdieping erboven. Op onderliggende verdiepingen is dit effect neutraal omdat hier al sprake was van de maximale vluchttijd, ook bij geopende binnendeuren. In de brandruimte zelf heeft het sluiten van de deur een negatief effect voor de ontvluchting uit van de brandruimte. De reden hiervoor is dat de ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte later wordt aangesproken, waardoor ontvluchting in een latere fase van de brand plaatsvindt. Dit negatieve effect zou kunnen worden tegengegaan door het plaatsen van een gekoppelde rookmelder in de brandruimte. Wanneer sprake is van een houten vloerconstructie kan het sluiten van de deur van de brandruimte leiden tot rookverspreiding via de constructie. Het is verstandig hier maatregelen voor te nemen door het afwerken van naden en kieren.

Het koppelen van optische rookmelders heeft voor ontvluchting een positief effect wanneer de brand zich beneden bevindt en de aanwezigen op de bovenliggende verdieping(en) zijn. Als een persoon zich in de brandruimte bevindt of op dezelfde verdieping, heeft het een neutraal effect, omdat de eerst aangesproken rookmelder in de verkeersruimte ook de dichtstbijzijnde melder is.

Het meeste effect wordt verkregen door zowel in de verkeersruimten als in de brandruimte een gekoppelde optische rookmelder te hangen. Dit heeft zowel een positief effect als men zich in de brandruimte, in een andere ruimte op dezelfde verdieping of bovenliggende verdieping bevindt. Bij een brand boven, terwijl men beneden verblijft, is het effect op de ontvluchting neutraal omdat beneden de maximale vluchttijd al wordt bereikt (ook zonder gekoppelde rookmelder in de brandruimte). Wel leidt dit tot een snellere ontdekking van de brand. Wanneer er meerdere personen in verschillende ruimten in de woning aanwezig zijn (bijvoorbeeld een baby op de eerste verdieping), levert deze maatregel de grootste kans op ontvluchting en redding.

# 6 Belangrijkste bevindingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen uit de literatuurstudie, de database-analyse, het incidentonderzoek en het praktijkonderzoek besproken. Dit gebeurt aan de hand van het model met de onderwerpen van onderzoek. Het model, dat in paragraaf 1.3 is geïntroduceerd, is in figuur 24 nogmaals weergegeven.



Figuur 24: Onderwerpen van onderzoek

## 6.1 Brandkenmerken

In de eerdergenoemde brandtesten is de invloed van de brandkenmerken uitgebreid aan de orde gekomen. Allereerst heeft de locatie van de brandhaard invloed op de mogelijkheid en snelheid van detectie van de brand door de rookmelder.

### 6.1.1 Locatie van de brandhaard en bereiken van de grenswaarden

In de brandtesten zijn 3 verschillende locaties van de brandhaard onderzocht, namelijk op de eerste verdieping in de ouderslaapkamer en op de begane grond in de keuken en de woonkamer. Het is opvallend dat in de brandruimte bij de twee testen met brand in de ouderslaapkamer (test 1 en 6) al binnen iets meer dan 4 minuten de grenswaarde voor overleven wordt bereikt, beiden vanwege hitte. Bij de twee testen met brand in de bank in de woonkamer (test 3 en 4) lopen aanwezigen in de brandruimte al binnen 15 minuten ernstige gezondheidsschade op vanwege een te hoge concentratie stikstofoxide (NO). In de andere twee testen (brand in apparatuur, namelijk friteuse in keuken en TV in woonkamer) moet binnen ongeveer 30 minuten gevlucht worden om de brand te kunnen overleven (keukenbrand), of blijven de omgevingscondities tot het einde van de test<sup>78</sup> goed (TV-brand).

<sup>78</sup> Na 28 minuten is de vuurlast in de woonkamer gewijzigd vanwege een gecombineerd experiment, waardoor ook de bank bij de brandhaard wordt betrokken. Binnen een minuut daarna wordt de grens voor overleven in de gehele woning bereikt.

In de testen die in de ouderslaapkamer zijn ontstaan, is sprake van een (zeer) snelle brandontwikkeling, waardoor na het afgaan van de rookmelder in de verkeersruimte met name in de brandruimte helemaal geen tot maar weinig tijd beschikbaar is om te vluchten. Daarna is ook al snel de grenswaarde voor overleefbaarheid bereikt. De kans dat mensen deze branden overleven, wanneer zij zich slapend in de brandruimte bevinden, is (zeer) klein. Dit wordt bevestigd door het feit dat bij fatale woningbranden in Nederland in een aantal gevallen, bij brand die is veroorzaakt door roken in bed en de rookmelder is afgegaan, toch doden zijn te betreuren die mobiel waren en daarom fysiek in staat waren om te vluchten.

### 6.1.2 Type materiaal en type verbranding

In aanvulling op het model (figuur 24) is uit de literatuur naar voren gekomen dat het type materiaal dat brandt en de type verbranding van invloed is op de effectiviteit van rookmelders. Zo gaat een rookmelder eerder af als er sprake is van synthetisch weefsel (polyester) in plaats van katoen en van schuimmateriaal met een grotere dichtheid. En bij de smeulbranden ging de rookmelder 10-25 keer later in alarm dan bij vlammenbranden.

## 6.2 Gebouwenmerken

De gebouwenmerken, zoals bouwtype (woning of anders) en bouwjaar (2003 of ouder), hebben een relatie met de aanwezigheid en locatie van rookmelders.

### 6.2.1 Aanwezigheid en dekking

De aanwezigheid en dekking van rookmelders volgt uit (landelijke) regelgeving en uit adviezen van Brandweer Nederland en rookmelderproducenten. Het algemene advies voor een minimale bescherming is om tenminste één rookmelder per bouwlaag op te hangen in de verkeersruimten (hal/gang/overloop). Op basis van de eisen moeten woningen die gebouwd zijn in 2003 of later voorzien zijn van rookmelders, die via het lichtnet worden gevoed. Uit de analyse van de database van WoON 2012 blijkt echter dat in 4% van de woningen uit de periode 2003 en later geen rookmelder aanwezig is. Uit de database van Brandweer Nederland blijkt dat bij 36% van de branden in woningen na 2003 geen werkende rookmelder aanwezig was. In woningen die gebouwd zijn voor 2003 is de plaatsing van rookmelders niet verplicht.

In het literatuuroverzicht is naar voren gekomen dat de gegevens over de rookmelderdichtheid in Nederland niet eenduidig zijn. Deze variatie heeft vooral te maken met de steekproef die gekozen is, zoals verschillende wijken in een gemeente, en met de methode van onderzoek, zoals een opname door deskundigen of een internetenquête. Gezien de omvang van de steekproef en de onderzoeksmethode wordt de database van WoON 2012 als meest representatief beschouwd. Op basis daarvan kan gesteld worden dat in Nederland circa 70% van de huishoudens een rook- of brandmelder in hun woning heeft geïnstalleerd. Dit percentage verschilt per veiligheidsregio<sup>79</sup>, variërend van 60% in Amsterdam-Amstelland tot 74% in de regio's Drenthe en Brabant-Noord. Dit betekent overigens niet dat de rookmelders die aanwezig zijn, op de juiste locatie hangen en het doen. In 61% van de woningen met één bewoonbare verdieping is op die verdieping een rookmelder aanwezig. Dit is ook het geval op iedere bewoonbare verdieping van 45% van de woningen met twee bewoonbare verdiepingen<sup>80</sup> en in 34% van alle woningen met drie of meer bewoonbare verdiepingen<sup>81</sup>. De woningen met meerdere verdiepingen vormen daarmee een risicogroep. Ook woningen met

<sup>79</sup> In de database is van de respondenten bekend in welke politieregio zij wonen. In 2012 was de indeling van politieregio's gelijk aan de indeling van veiligheidsregio's.

<sup>80</sup> In 13678 van de 21400 woningen met 2 bewoonbare verdiepingen is op alle bewoonbare (of meer) verdiepingen een rookmelder geïnstalleerd.

<sup>81</sup> In 7080 van de 21120 woningen met 3 of meer bewoonbare verdiepingen is op alle bewoonbare (of meer) verdiepingen een rookmelder geïnstalleerd.

een WOZ-waarden van 150.000 euro of lager vormen een risico voor wat betreft de aanwezigheid van rookmelders. Er blijkt geen duidelijk verschil in de aanwezigheid van rookmelders in huur- en koopwoningen. Rookmelders hangen vooral in woningen die zijn gebouwd na 1992 (in 83% van de woningen van na dit bouwjaar) en minder vaak in woningen van vóór 1992 (in 65% van de woningen van voor dit bouwjaar).

### 6.2.2 Locatie rookmelder

In adviezen van Brandweer Nederland en rookmelderproducenten wordt voor de locatie van rookmelders onderscheid gemaakt in een minimale bescherming (in verkeersruimten) en een maximale bescherming (ook in woonkamer, slaapkamers en op zolder). In het Bouwbesluit zijn rookmelders geëist in de vluchtroute in de woning (in verkeersruimten en in andere ruimten waardoor een vluchtroute voert), dat komt doorgaans overeen met het eerder genoemde niveau van een minimale bescherming. Van de woningen in Nederland waarin rookmelders zijn geplaatst, werkt 66% en in 49% de woningen hangt de werkende rookmelder op de juiste plaats, uitgaande van de eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming<sup>82</sup>. Dit betekent dat in circa 45% van de woningen een werkende rookmelder aanwezig is en in circa 35% van de woningen de werkende rookmelder op de juiste plaats is geïnstalleerd. Bij circa 10% van de woningen hangt wel een werkende rookmelder, maar niet op iedere verdieping of niet in de hal of overloop.

In het praktijkonderzoek is onder andere de invloed van de locatie van rookmelders op de mogelijkheid en snelheid van detectie van brand onderzocht. Wanneer rookmelders in de verkeersruimten worden opgehangen, en deze onderling niet gekoppeld worden, gaat de rookmelder voor de aanwezigen in de brandruimte in een aantal testen te laat af om te kunnen vluchten of om gered te worden. In een aantal gevallen is ook de mogelijkheid voor vluchten vanuit de aangrenzende ruimten maar beperkt. In meerdere testen moet men binnen ongeveer 1,5 minuten uit die ruimten vluchten. In de meeste gevallen is daarna nog tijd beschikbaar voor redding, al is de tijd beperkt en soms niet voldoende vanwege tijdsverlies die ontstaat door het alarmeren en aanrijden van de brandweer. Door de rookmelder in potentiële brandruimten te plaatsen wordt de vluchttijd, op voorwaarde dat de rookmelder in de gehele woning goed te horen is, in het slechtste geval met een halve minuut verlengt. Aangezien de beschikbare vluchttijd met de rookmelder in de verkeersruimte in dat geval slechts 1,5 minuten is, kan de halve minuut verlenging het verschil maken tussen wel of geen kans op ontvluchting (of redding). Ook daar waar de rookmelder in de verkeersruimte te laat is afgegaan om uit de brandruimte te kunnen vluchten, zorgt een rookmelder in de brandruimte voor een verschil tussen leven en dood. De tijdswinst loopt daarbij zelfs op tot 5,5 minuten ten opzichte van 0 minuten om te vluchten.

Op basis van het onderzoek zijn voor de locatie van rookmelders drie beschermingsniveaus te onderscheiden:

- > Niveau 1 bestaat uit optische rookmelders in de hal en de overloop die overal voldoende hoorbaar zijn. Dit is vergelijkbaar met het vereiste niveau voor nieuwbouwwoningen en het minimale niveau uit de adviezen van de brandweer en rookmelderproducenten.
- > Niveau 2 bestaat uit gekoppelde optische rookmelders in de hal en overloop, en alle ruimten waarin je slapend aanwezig kunt zijn. Op basis van het onderliggende onderzoek wordt minimaal dit niveau geadviseerd.
- > Niveau 3 bestaat uit de plaatsing in overloop, hal en alle potentiële brandruimten. Dit niveau biedt de hoogste bescherming.

<sup>82</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.

### 6.2.3 Invloed van sluiten van deuren

De gebouwkenmerken hebben ook een relatie met de mogelijkheid en snelheid van detectie van brand door rookmelders. In een praktijkonderzoek is de invloed onderzocht van het al of niet sluiten van deuren op de rookverspreiding als trigger voor detectie van brand door een ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimten. Het sluiten van de deur van de brandruimte heeft een aanzienlijk positief effect op de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimten. Het heeft daarentegen ook een aanzienlijk negatief effect op de snelheid van alarmering en de hoorbaarheid van de rookmelder(s). Voor aanwezigen in de brandruimte heeft het sluiten van de deur van de brandruimte dan ook een aanzienlijk negatief effect. Bovendien bestaat er bij een houten vloerconstructie (en mogelijk ook bij andere constructies met holle ruimten en/of kleine openingen) kans op rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie wanneer de deur van de brandruimte gesloten is. Wanneer de rookverspreiding wel via de verkeersruimte plaatsvindt, dan leidt alleen het sluiten van de slaapkamerdeur, tot een grotere kans op overleven van de brand, maar niet tot een grotere kans op ontvluchting. Voorwaarden zijn wel 1) dat men tot aan de redding in de ruimte met gesloten deur blijft en de deur tussentijds niet open doet, 2) dat de brandweer weet waar de mensen zijn die gered moeten worden en 3) dat redding van buitenaf plaatsvindt en niet via de hal en overloop. Wanneer ook de deur van de brandruimte gesloten is, dan is ook voor ontvluchting aanzienlijk meer tijd beschikbaar.

## 6.3 Menskenmerken

Het al of niet, en op juiste wijze, opvolgen van de eisen en adviezen op gebied van rookmelders bepaalt de aanwezigheid en het functioneren van rookmelders.

### 6.3.1 Aanwezigheid en functioneren

In woningen van bewoners met de volgende kenmerken zijn er aanwijzingen dat relatief vaak *geen* werkende rookmelder is geïnstalleerd:

- > Eenpersoonshuishoudens
- > Eigenaren van woningen met een lage score op kwaliteit / WOZ-waarde minder dan 150.000 euro
- > Werkelozen en uitkeringsgerechtigden, ook AOW-ers
- > Lager opgeleiden
- > Huishoudens met lage inkomens
- > 55-plussers.

Huurders vormen in de ene gemeente wel een risicogroep en in de andere gemeente er geen verschil is tussen mensen met een huurwoning of een koopwoning.

Als wordt gekeken naar het functioneren van rookmelders, dan blijkt uit het gemiddelde resultaat uit evaluaties in drie gemeenten, dat in slechts een derde van de woningen een werkende rookmelder op de juiste plaats<sup>83</sup> is geïnstalleerd, uitgaande van de huidige eisen en adviezen voor het niveau van een minimale bescherming. Daarnaast moet het signaal van de rookmelder voldoende hoorbaar zijn. Een rookmelderproducent geeft voor vrijwillig te plaatsen rookmelders (in bestaande woningen) advies over zorg voor de hoorbaarheid van het alarmsignaal, zelfs met de radio aan. Dit advies is in andere folders en handleidingen niet aangetroffen.

De aanwezigheid en het functioneren van rookmelders kan worden gestimuleerd door rookmelderinterventies door overheid, zoals brandweerorganisaties. Uit verschillende Amerikaanse studies naar het effect van rookmelderinterventies komt het volgende naar voren:

<sup>83</sup> Dat is op iedere verdieping, in de hal of overloop.



- > Wetgeving met een rookmeldereis voor alle woningen, ongeacht het bouwjaar, is effectiever dan de wetgeving met een rookmeldereis voor alleen nieuwbouwwoningen: de rookmelders blijken niet alleen vaker geïnstalleerd (94% versus 84%), maar ook vaker werkend (83% versus 70%).
- > Campagnes waarin gratis rookmelders worden verstrekt blijken vooral in stedelijk gebied met een hoog risico erg succesvol op de korte termijn. Op de lange termijn zijn dergelijke weggeefacties maar beperkt effectief: na ruim een jaar of langer deed 27% tot bijna 50% van de rookmelders het niet meer.
- > Campagnes waarbij gratis rookmelders ter plaatse worden geïnstalleerd lijken effectiever dan het uitsluitend uitdelen van gratis rookmelders.

### 6.3.2 Gehoor en wekvermogen

Het gehoor van mensen en het wekvermogen van rookmelders heeft invloed op de mogelijkheid en snelheid van alarmering.

In geval van brand blijkt ongeveer de helft van de mensen niet te ontwaken door een brandlucht of door de flikkering van vlammen. Er zijn meerdere factoren die bepalen of een slapend persoon wakker wordt van geluid, zoals de sterkte (volume) en de frequentie (toonhoogte) van het geluid, de akoestiek en het achtergrondgeluid in de slaapkamer, de fase van slaap waarin de persoon zich bevindt, de mate van vermoeidheid of slaapachterstand, of de persoon erop gericht is om wakker te worden van een alarm, het gebruik van medicijnen, alcohol of drugs en de mate van gehoorbeperking. Daarnaast moet een rookmelder voldoende hoorbaar zijn in iedere verblijfsruimte en vluchtroute in de woning. Daartoe worden – voor woningen die sinds 2003 gebouwd zijn – eisen gesteld aan het te bereiken geluidsniveau, te weten 75 dB(A) in ‘bedruimten’ en 65 dB(A) in overige ruimten. Er worden geen eisen gesteld aan de geluidsfrequentie (Hz) van een rookmelder. De rookmelders in Nederlandse woningen genereren een geluid met een frequentie van ongeveer 3100 Hz. Uit de literatuur (zie paragraaf 3.3.2) komt naar voren dat niet iedereen wakker wordt van deze gangbare rookmelder, maar bijvoorbeeld slechts 57% van de jongvolwassenen en 44% van de slechthorenden. Uit experimenten blijkt verder dat de gangbare frequentie van 3100 Hz het minst geschikt is voor het wekken van slapende personen. Uit de testen met kinderen en de slechthorende volwassenen blijkt dat het verhogen van de geluidssterkte (volume) wel een verbetering geeft, maar dat een aanzienlijk deel van de testpersonen bij de gangbare frequentie van 3100 Hz alsnog niet wakker is geworden. Het verlagen van de frequentie (naar 520 Hz) geeft voor alle onderzochte doelgroepen een beter resultaat. Kinderen blijken het best gewekt te kunnen worden door de stem van hun ouders.

### 6.3.3 Mate van zelfredzaamheid

Nadat mensen gealarmeerd zijn door het signaal van de rookmelder moet, om uiteindelijk de brand te kunnen overleven, nog wel een vluchtactie uitgevoerd worden. De mate van zelfredzaamheid van mensen, en dan met name de mate van mobiliteit, heeft invloed op de mogelijkheid van ontvluchting.

Bij de onderzochte fatale woningbranden, waar er sprake was van een functionerende rookmelder, was in de meeste gevallen sprake van een slachtoffer dat beperkt of niet zelfstandig mobiel was. Van de mensen met beperkte of afwezige mobiliteit, is bekend dat er (daarnaast) bij sommigen sprake was van een verstandelijke beperking, gehoorproblemen of zichtproblemen. Ongeveer een derde van de slachtoffers was zelfstandig mobiel, waarvan 4 van de 10 personen sliepen op het moment van de brand en daarmee niet alert waren. Een aantal wakkere, mobiele slachtoffers bevonden zich in de brandruimte en konden mogelijk vanwege een snelle brandontwikkeling niet vluchten. In de andere gevallen is veelal sprake van roken in bed, waarna na het ontstaan van de brand een vlucht poging is mislukt. In één fatale woningbrand is het slachtoffer wel buiten de woning geweest, maar is daarna terug de woning in gegaan, vermoedelijk om een ander beperkt mobiel persoon te redden.

## 6.4 Rookmelderkenmerken

De rookmelderkenmerken die in het onderzoek zijn meegenomen zijn het type rookmelder en de wijze waarop de rookmelders al of niet onderling zijn gekoppeld.

### 6.4.1 Type rookmelder

In Nederlandse woningen komen ruwweg drie typen rookmelders voor, namelijk optische melders, thermische melders en gecombineerde CO-/rookmelders. Optische melders worden het meest toegepast. Deze zijn sinds 2003 voor nieuwe woningen vanuit de bouwregeling zelfs verplicht en deze moeten op het lichtnet zijn aangesloten. De rookmelders die consumenten in huis hebben zijn doorgaans (91%) niet-koppelbare rookmelders met batterijen (9 volt), maar sommige (9%) rookmelders zijn uitgevoerd met lichtnetaansluiting (230 volt). Een belangrijk probleem bij de rookmelders op batterijen is dat de werking over de tijd niet gegarandeerd is.

Optische rookmelders blijken in de brandtesten (veel) sneller te reageren dan thermische melders. Wanneer een ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte wordt vervangen door een thermische, gaat de rookmelder in 4 testen te laat af om aanwezig in de verblijfsruimten überhaupt de kans te geven om zelf te vluchten. Een thermische melder in de brandruimte geeft betere resultaten. Uit de literatuurstudie blijkt dat een optische rookmelder in de keuken vaak leidt tot hinderlijke activering. Het is daarmee zinvol om een thermische melder op te hangen in ruimten waarin een optische rookmelder een grote kans op hinderlijke activering geeft, zoals in de keuken. In alle overige gevallen, met name in de verkeersruimten, is een thermische melder in woningen sterk af te raden.

### 6.4.2 Hoorbaarheid

De hoorbaarheid van de rookmelders in en buiten de woning is in de praktijk getest. Hierbij is ook gekeken of het volumebereik van de rookmelder (geluidssterkte) voldoende is volgens de geldende regelgeving voor nieuwe woningen.

Ondanks dat de woning waarin de testen zijn uitgevoerd klein te noemen is, en een geluid doorlatende vloer (hout) heeft, voldoet de rookmelder in de hal nog net aan de volume-eisen. De geluidssterkte (volume) in de slaapkamers 75 en 76 dB(A), terwijl de eis voor de hoorbaarheid in slaapkamers ten minste 75 dB(A) is. Dit is opmerkelijk omdat er sprake is van een slecht geïsoleerde houten vloerconstructie. De verwachting is dat bij beter geïsoleerde woningen met een betonnen vloerconstructie de geluidsreductie nog groter is.

De rookmelder op de overloop geeft een te laag volume in de woonkamer (64 dB(A)) en keuken (56 dB(A)) om te voldoen aan volume-eis van 65 dB(A) voor overige ruimten. De regelgeving stelt hier een lagere eis dan in slaapkamers. Hoewel de woonkamer en keuken geen slaapvertrekken zijn, wordt wel degelijk in deze ruimten geslapen<sup>84</sup>. De kans dat aanwezig in de slaapkamers, woonkamer en keuken wakker zullen worden van de gemeten volumes is gering. Wanneer de aanwezige een oudere is, die doorgaans te kampen hebben met een gehoorverlies van 30 dB(A) op het frequentieniveau (toonhoogte) van ongeveer 3000 Hz, dan reduceert het geëiste volume in de slaapkamer naar 45 dB(A) en in de woonkamer naar 35 dB(A). Dat is vergelijkbaar met het geluid van een koelkast tot zacht gefluister op 5 meter afstand.

Wat betreft de geluidsmetingen van het rookmeldervolume buiten de woning, blijkt dat de rookmelder bij de burens nauwelijks hoorbaar is. Bij enig achtergrondgeluid, zoals een televisie of het voeren van een gesprek, is de kans dat de rookmelder van de burens gehoord wordt klein. Op straat kan de rookmelder gehoord worden mits het ook daar vrij stil is. Het

<sup>84</sup> Dit wordt bevestigd door de gegevens over fatale woningbranden, zie paragraaf 4.3.2. Daaruit blijkt dat bij de fatale woningbranden met rookmelders slachtoffers tijdens de brand in de woonkamer sliepen.

gemeten geluidsvolume is weliswaar sterker dan in de woning van de buren, maar niet sterker dan het geluid van een auto op 15 meter afstand. Met andere woorden: in een stille omgeving, bijvoorbeeld 's avonds als er weinig verkeer is, zou een voorbijganger, mits hij geen muziek luistert of telefoneert, de rookmelder kunnen horen en zo gealarmeerd kunnen worden. In een situatie van bedrijvigheid en druk verkeer kan daar niet vanuit gegaan worden.

### **6.4.3 Koppeling**

De invloed van het onderling koppelen van rookmelders is in de praktijk met brandtesten onderzocht. Bij brand op de verdieping, in het geval er geen mensen in een bovenliggende verdieping aanwezig zijn, heeft het koppelen van rookmelders in de verkeersruimten geen effect. De rookmelder die als eerste afgaat, hangt immers in de verkeersruimte waar de mensen vanaf een verdieping als eerste doorheen moeten vluchten. Wanneer de brand echter op de begane grond ontstaat, heeft het koppelen een groot effect. Aangezien veel woningbranden op de begane grond ontstaan, bijvoorbeeld 72% van de woningbranden in 2014, die in het kader van dit rookmelderonderzoek zijn geanalyseerd, kan het koppelen van rookmelders het verschil maken tussen wel of niet zelfstandig kunnen vluchten en soms zelfs tussen leven en dood.

# 7 Conclusies en aanbevelingen

## Onderzoeksvraag 1: Hoe is het op dit moment gesteld met de aanwezigheid, de projectering en het functioneren van rookmelders in woningen?

In Nederlandse woningen komen voornamelijk drie typen rookmelders voor, namelijk optische melders, thermische melders en gecombineerde CO-/rookmelders. Al deze typen melders hebben twee functies in één apparaat, namelijk het detecteren van brand en het alarmeren van de aanwezigen in de woning. Optische melders worden het meest toegepast en detecteren op basis van verduistering van een lichtbron. De thermische melder, of hittemelder, reageert op temperatuurschommelingen. Een gecombineerde CO-/rookmelder, of combimelder, is een combinatie van een optische melder en een koolstofmonoxidemelder. Ongekoppelde rookmelders werken los van elkaar, ook als meerdere rookmelders in de woning zijn geplaatst. Er zijn daarentegen ook rookmelders die onderling gekoppeld kunnen worden, zodat alle rookmelders alarm geven als de eerste melder wordt aangesproken. Rookmelders zijn voor woningen gebouwd voor 2003 niet verplicht. Wel worden mensen, onder andere door de brandweer, gestimuleerd om rookmelders op te hangen.

Op basis van het onderzoek zijn drie beschermingsniveaus voor rookmelders te onderscheiden:

- > Niveau 1 bestaat uit optische rookmelders in de hal en de overloop die overal voldoende hoorbaar zijn. Dit is vergelijkbaar met het vereiste niveau voor nieuwbouwwoningen en het minimale niveau uit de adviezen van de brandweer en rookmelderproducenten.
- > Niveau 2 bestaat uit gekoppelde optische rookmelders in de hal en overloop, en alle ruimten waarin je slapend aanwezig kunt zijn. Op basis van het onderliggende onderzoek wordt minimaal dit niveau geadviseerd.
- > Niveau 3 bestaat uit de plaatsing in overloop, hal en alle potentiële brandruimten. Dit niveau biedt de hoogste bescherming.

Uit onderzoek blijkt dat in Nederland het aantal woningen waarin een rookmelder aanwezig is, circa 70% is. Echter de dekking van tenminste één rookmelder per bouwlaag (niveau 1), neemt snel af met toename van het aantal bouwlagen. Zo is bij een woning met drie bouwlagen nog maar bij een derde van de woningen op iedere bouwlaag een rookmelder aanwezig. Als ook nog gekeken wordt naar het functioneren<sup>85</sup> van de rookmelder dan neemt dit nog verder af: gemiddeld heeft dan nog maar in ongeveer een derde van alle woningen in Nederland op de geadviseerde plaatsen werkende rookmelders.

---

<sup>85</sup> Onder functioneren wordt verstaan dat de rookmelders werken, op de juiste plaats hangen om brand snel te detecteren en het geluid van het alarmsignaal zodanig is dat de (slapende) aanwezigen in de woning gealarmeerd worden.

**Conclusie 1: Het percentage woningen waarin een rookmelder aanwezig is, is met circa 70% relatief hoog. Het aantal woningen waar de rookmelder werkt (circa 45%) of werkt én op de juiste plek hangt (circa 35%) is echter relatief laag.**

**Aanbeveling 1: Verhoog het percentage woningen met juist geplaatste en werkende rookmelders in Nederland.**

Met name in de woningen gebouwd voor 2003, het moment waarop een rookmelder op het lichtnet verplicht werd, blijkt niet altijd een rookmelder aanwezig.

Veelal wordt gekozen voor ongekoppelde optische rookmelder op batterijen. Deze rookmelders werken niet altijd doordat de batterijen leegraken of er door de bewoners worden uitgethaald. Uit onderzoek blijkt dat hinderlijke activering door normale activiteiten voor bewoners de belangrijkste reden is om rookmelders onbruikbaar te maken. Vaak wordt dit veroorzaakt door stoom, rook of ophoping van (stof)deeltjes, zoals veroorzaakt bij koken, douchen, werkzaamheden, sigaretten of kaarsen. Verder blijkt TL-verlichting de werking van optische rookmelders te beïnvloeden.

**Conclusie 2: Het leegraken van batterijen en het onklaar maken als gevolg van hinderlijke activering zijn belangrijke oorzaken voor het niet functioneren van rookmelders.**

**Aanbeveling 2: Stimuleer het gebruik van rookmelders op het lichtnet of met een batterij met een lange levensduur (bijvoorbeeld 10 jaar) en adviseer maatregelen om hinderlijke activering te voorkomen.**

Rookmelders lijken minder vaak aanwezig te zijn in woningen van eenpersoonshuishoudens, eigenaren van woningen met een lage score op kwaliteit, werkelozen en uitkeringsgerechtigden, lager opgeleiden, huishoudens met lage inkomens en 55-plussers.

Rookmeldercampagnes blijken op korte termijn effectief<sup>86</sup>, vooral als de rookmelder door het voorlichtingsteam zelf worden geïnstalleerd. Op lange termijn blijken rookmelderacties met rookmelders met een korte levensduur van de batterij beperkt effectief, met name vanwege het onderhoud. Herhaalde aandacht voor goed werkende rookmelders is daarom noodzakelijk.

**Conclusie 3: Rookmeldercampagnes leiden vooral tot een toename van het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats als de rookmelder door het voorlichtingsteam zelf geïnstalleerd wordt en er herhaalde aandacht is voor blijvend onderhoud.**

**Aanbeveling 3: Laat bij rookmelderacties de rookmelder ophangen door het voorlichtingsteam en zorg voor opvolgacties.**

<sup>86</sup> Hier wordt onder effectief wordt verstaan dat er een toename is in het aantal huishoudens met werkende rookmelders op de juiste plaats.

Wetgeving waarin rookmelders voor alle woningen verplicht wordt gesteld, blijkt in het buitenland doeltreffend om de aanwezigheid van werkende rookmelders te stimuleren. Wel is de handhaafbaarheid hierbij een aandachtspunt. Ook in woningen gebouwd na 2003, waarin een rookmelder verplicht is, blijken niet altijd werkende rookmelders aanwezig te zijn.

**Conclusie 4: Het in wetgeving verplicht stellen van aanwezigheid van functionerende rookmelders in alle woningen kan een doeltreffende maatregel zijn om de aanwezigheid van werkende rookmelders op de juiste plaats te stimuleren. Handhaafbaarheid is hierbij een aandachtspunt.**

**Aanbeveling 4: Overweeg het verplicht stellen van rookmelders, ook voor woningen die gebouwd zijn voor 2003.**

## **Onderzoeksvraag 2: Wat is de effectiviteit van rookmelders, uitgegaan van de huidige regelgeving (Bouwbesluit) en adviezen van de brandweer, en welke brandkenmerken, gebouwkenmerken, menskenmerken en rookmelderkenmerken spelen hierbij een rol?**

### **Effectiviteit van rookmelders in algemene zin**

Rookmelders zijn effectief wanneer het doel van de rookmelder wordt bereikt, namelijk het snel detecteren van brand en het snel alarmeren van (slapende) aanwezigen, waardoor bewoners tijdig kunnen vluchten. Uit het praktijkonderzoek blijkt dat rookmelders in het algemeen bescherming bieden doordat zij de aanwezigen vroegtijdig alarmeren waardoor er tijd is om te vluchten. Zonder werkende rookmelders is het aannemelijk dat een slapende persoon bij brand niet tijdig wakker wordt. Wel is gebleken dat bij werkende rookmelders, afhankelijk van de (brand)situatie, de vluchttijd soms beperkt is. Zo was er bij één van de branden op de begane grond na het afgaan van de rookmelder nog maximaal 1,5 minuten tijd om de eerste verdieping te verlaten.

**Conclusie 5: Rookmelders in de verkeersruimten zijn ten opzichte van de situatie zonder rookmelders effectiever. Wel is de beschikbare vluchttijd na alarmering soms beperkt tot nihil. Een snelle ontvluchting na alarmering is daarom noodzakelijk.**

**Aanbeveling 5: Blijf in publieksvoorlichting het belang van het plaatsen van rookmelders in woningen benadrukken. Wijs erop dat na het afgaan van de rookmelder zo snel mogelijk gevlucht moet worden naar een veilige plaats.**

Uit het onderzoek zijn een aantal aspecten gebleken die invloed hebben op de effectiviteit van rookmelders.

### **Brandkenmerken**

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat het type materiaal dat brandt invloed heeft op het moment waarop de rookmelder geactiveerd wordt. Brandende kunststof materialen leiden eerder tot activering dan katoen, en meubelschuim met een grote dichtheid eerder dan schuim met een lagere dichtheid. Ook het type brand heeft invloed: bij een smeulbrand is er latere activering dan bij een vlammenbrand.

De effectiviteit van ongekoppelde rookmelders in de verkeersruimte is beperkt wanneer de mensen zich bevinden in de ruimte waar de brand ontstaat. In dat geval kan het voorkomen



dat de rookmelder in de verkeersruimte afgaat op het moment dat er nauwelijks tot geen tijd meer is om te vluchten vanuit de brandruimte. Deze situatie wordt bevestigd uit statistieken van (fatale) woningbranden. Concluderend kan gesteld worden dat een rookmelder in de verkeersruimte, als het slachtoffer zich (vooral slapend) in de brandruimte zelf bevindt, niet de optimale locatie is, omdat hele snelle detectie in dat geval noodzakelijk is.

**Conclusie 6: Uitsluitend rookmelders in de verkeersruimte ophangen heeft een beperkte effectiviteit als een slachtoffer zich in de brandruimte bevindt. In dat geval kan de rookmelder te laat af gaan om nog te kunnen vluchten.**

**Aanbeveling 6a: Adviseer in publieksvoorlichting om niet alleen in de verkeersruimten een rookmelder op te hangen, maar ook in de ruimten waar brand kan ontstaan en men tevens slapend kan verblijven.**

**Aanbeveling 6b: Stel rookmelders niet alleen verplicht in de verkeersruimten, maar ook in de ruimten waar brand kan ontstaan en men tevens slapend kan verblijven.**

### **Menskenmerken**

Uit het databaseonderzoek blijkt verder dat verminderde mobiliteit een rol speelt. Van alle fatale woningbranden waarbij er een werkende rookmelder was en toch iemand overleed, was in twee derde sprake van niet of beperkt mobiele personen. In deze situaties is de rookmelder wel effectief in het alarmeren, maar is de bewoner vervolgens niet in staat zelfstandig te vluchten. Voor deze doelgroep is een rookmelder alleen daarom niet voldoende. Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat na het afgaan van de rookmelder de reedtijd, zeker bij aanwezigheid van het slachtoffer in de brandruimte, beperkt is. In veel gevallen heeft de brandweer nauwelijks tijd om een dergelijk verminderd zelfredzame persoon te redden. Om brand te overleven, zijn daarom aanvullende maatregelen noodzakelijk.

**Conclusie 7: Rookmelders zonder aanvullende maatregelen hebben een beperkte effectiviteit bij mensen die verminderd of niet zelfstandig mobiel zijn. Zij kunnen na een tijdige alarmering echter niet altijd snel genoeg vluchten.**

**Aanbeveling 7a: Richt brandpreventiebeleid bij mensen die verminderd of niet zelfstandig mobiel zijn in het bijzonder op het beperken van de kans op brand en op het beperken van de effecten van brand. Doe onderzoek naar maatregelen om de zelfredzaamheid te vergroten.**

**Aanbeveling 7b: Aan mensen die niet zelfstandig kunnen vluchten wordt geadviseerd in alle potentiële risicoruimten voor brand een rookmelders op te hangen die onderling gekoppeld zijn. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen nodig om de kans op brand of de effecten van brand te beperken en om snelle ondersteuning te krijgen om ontvluchting mogelijk te maken. Denk daarbij aan het door koppelen van de rookmelder naar een telefoon of ontvanger bij iemand uit de directe omgeving.**

Een ander aspect in de effectiviteit van rookmelders heeft te maken met beperkt waarnemingsvermogen tijdens de slaap. Of men wakker wordt van het geluid van een rookmelder, hangt af van onder andere de geluidssterkte (volume), de geluidsfrequentie (toonhoogte), achtergrondgeluid, fase van slaap, hoorvermogen, vermoeidheid en invloed van verdovende middelen. Op dit moment worden er eisen gesteld aan de geluidssterkte (volume) van het geluid van een rookmelder, maar niet aan de geluidsfrequentie (toonhoogte). Op dit moment is 3100 Hz gebruikelijk. De hoge geluidsfrequentie van het alarmsignaal wordt in slapende toestand niet door iedereen gehoord bij de vereiste geluidssterkte van 75 dB(A). Uit experimenten blijkt dat een substantieel deel van de slechthorende ouderen, kinderen, mensen onder invloed en diep slapende mensen bij de gangbare frequentie niet wakker worden. Bij 520 Hz is dit wel het geval.

**Conclusie 8: Rookmelders hebben momenteel niet de optimale geluidsfrequentie (toonhoogte) om zo veel mogelijk (slapende) mensen bij brand te wekken.**

**Aanbeveling 8: Stel eisen aan de geluidsfrequentie van rookmelders, waarbij een (veel) lagere frequentie (bijvoorbeeld 520 Hz) dan de nu gebruikelijke frequentie (3100 Hz) het uitgangspunt is.**

#### **Gebouwkenmerken: locatie rookmelder en rookverspreiding door constructie**

Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat de locatie van de rookmelder ten opzichte van de brand van invloed is op het moment van activering. Hierbij gaat het ook om de details in stroming als gevolg van het gebouw, de brand en ventilatiepatronen.

Verder is gebleken dat rookverspreiding via de constructie (bijvoorbeeld van de woonkamer naar de slaapkamer) een aandachtspunt is, omdat de rook dan eerder de verblijfsruimte bereikt dan de verkeersruimte. Dit kan beperkt worden door het afdichten van kieren en naden en het kiezen van materiaal voor plafonds en vloeren dat rookverspreiding voorkomt of beperkt.

**Conclusie 9: Rookmelders in de verkeersruimte hebben een beperkte effectiviteit als de rook zich via de constructie naar de verblijfsruimten kan verspreiden zonder dat de rook in de verkeersruimte komt. In dat geval worden de grenswaarden voor overleefbaarheid in de verblijfsruimte eerder overschreden dan dat de rookmelder in de verkeersruimte af gaat.**

**Aanbeveling 9: Neem in publieksvoorlichting op, dat er aandacht moet zijn voor het voorkomen van rookverspreiding via de constructie naar bovenliggende ruimten. Mocht dit niet mogelijk zijn, adviseer dan om in ieder geval in de verblijfsruimtes op de verdieping(en) een rookmelder te plaatsen.**

#### **Rookmelderkenmerken: geluidsreductie en volume in slaapruidten**

In de regelgeving wordt onderscheid gemaakt in geïste geluidssterkte (volume) tussen bedruimten en overige ruimten. Uit onderzoek is gebleken dat bij fatale woningbranden niet alleen personen slapend aanwezig in de slaapkamer, maar ook bijvoorbeeld in de woonkamer. Een woonkamer is in de regelgeving een niet-bedruimte, waardoor hier een lager geluidsniveau vereist is (65 dB(A)) ten opzichte van een bedruimte zoals de slaapkamer (75 dB(A)).

**Conclusie 10:** *In niet-bedruimten wordt in de regelgeving een lagere geluidssterkte (volume) voor de hoorbaarheid van rookmelders geëist dan in bedruimten, terwijl het bij woningbranden regelmatig voor is gekomen dat dodelijke slachtoffers in niet-bedruimten slapend aanwezig waren.*

**Aanbeveling 10:** *Eis ook voor niet-bedruimten het hogere geluidssterkte (volume) van 75 dB(A), zoals die geldt voor bedruimten.*

Uit de geluidspoeven van de praktijkexperimenten blijkt dat zelfs in een oude woning met geluid doorlatende vloeren (hout) en slechte isolatie, het geluidsbereik van de rookmelder in de verkeersruimte beperkt is richting de andere bouwlagen, waardoor de eis van het minimale geluidsniveau van 65 of 75 dB(A) niet overal wordt gehaald. Dat betekent dat men bij ongekoppelde rookmelders in het slechtste geval pas gealarmeerd wordt als de rookmelder in de verkeersruimte op de verdieping waar je je bevindt afgaat.

**Conclusie 11:** *Een (ongekoppelde) rookmelder in de verkeersruimte op een andere verdieping dan waar men zich bevindt, is niet altijd hoorbaar en dan beperkt effectief in het alarmeren van alle aanwezigen in de woning.*

**Aanbeveling 11:** *Adviseer bij publieksvoorlichting om bij het gebruik van rookmelders een geluidspoeve te houden met de deuren dicht. Dit bij voorkeur met achtergrondgeluid. Via een eenvoudige app is te bepalen of de rookmelder in alle verblijfsruimten hoorbaar is met een geluidssterkte (volume) van meer dan 75 dB(A). Is dit niet zo, dan zijn gekoppelde rookmelders noodzakelijk.*

### Onderzoeksvraag 3: Welke aanpassingen of alternatieven zijn geschikt om de effectiviteit van de huidige uitvoering van rookmelders te verbeteren?

Er zijn verschillende maatregelen onderzocht om de effectiviteit van de huidige uitvoering van rookmelders te verbeteren.

Het vervangen van optische rookmelders door thermische melders heeft over het algemeen een negatief effect op de mogelijkheden tot ontvluchting. Thermische rookmelders zijn daarom alleen zinvol als door de omstandigheden in een ruimte (stoom, stof) optische rookmelders te vaak hinderlijk geactiveerd worden. Hierbij heeft het de voorkeur eerst te proberen de optische rookmelder te verplaatsen binnen de ruimte en alleen wanneer dit geen verbetering geeft voor een thermische melder te kiezen.

**Conclusie 12:** *Thermische melders zijn minder effectief in het snel detecteren van brand dan optische rookmelders.*

**Aanbeveling 12:** *Blijf adviseren om thermische melders uitsluitend daar te plaatsen waar door hinderlijke activering optische rookmelders geen optie zijn.*

Het sluiten van binnendeuren heeft over het algemeen een positief effect. Het verlengt de mogelijkheden tot ontvluchting en redding ten opzichte van de situatie waarin de deuren open staan. Een uitzondering hierop is wanneer men zich in de brandruimte bevindt. De ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte wordt dan later aangesproken, waardoor alarmering in een latere fase van de brand plaatsvindt, waardoor ontvluchting niet altijd meer mogelijk is.

**Conclusie 13: Het sluiten van binnendeuren kan een positief effect hebben bij een woningbrand op de mogelijkheden voor ontvluchting en redding. Wel dient er aandacht te zijn voor mogelijkheden van rookverspreiding via de constructie en tijdige alarmering van aanwezigen in de brandruimte.**

**Aanbeveling 13: Neem in publieksvoorlichting op om binnendeuren preventief te sluiten. Adviseer om een rookmelder te plaatsen in de ruimten waarin men slapend verblijft en om naden en kieren in de constructie preventief af te dichten.**

Het sluiten van binnendeuren heeft niet alleen effect op mogelijkheden van ontvluchting, maar soms ook op mogelijkheden om de brand te overleven. Als niet meer via de normale route van de verkeersruimte kan worden gevluht, en er is een verblijfsruimte waarin nauwelijks rook aanwezig is, dan is het verstandig in die ruimte met een dichte deur te wachten op redding. Voorwaarden zijn wel dat men tot aan de redding in de ruimte met gesloten deur blijft en de deur tussentijds niet open doet, dat de brandweer weet waar de mensen zijn die gered moeten worden en dat redding via een veilige ruimte plaatsvindt, zodat de persoon niet wordt blootgesteld aan hitte of gevaarlijke stoffen in de rook in de verkeersruimte.

**Conclusie 14: In een aantal situaties worden de grenswaarden voor ontvluchting en redding in de verkeersruimte eerder overschreden dan in de verblijfsruimte. In dergelijke situaties heeft de aanwezige de grootste kans op overleving door in een verblijfsruimte met weinig rook en gesloten deuren te wachten op redding.**

**Aanbeveling 14a: Neem in publieksvoorlichting op om ook bij het ontvluchten bij brand binnendeuren te sluiten en om niet door dichte rook te vluchten. Adviseer, als er geen mogelijkheid tot vluchten meer is, om in een rookvrije ruimte te blijven met de binnendeur blijvend gesloten en daar te wachten op redding door de brandweer. Benadruk dat het belangrijk is om aan de brandweer kenbaar te maken waar men zich bevindt.**

**Aanbeveling 14b: Als er bij brand sprake is van een aanwezige die ingesloten is en de persoon bevindt zich in een ruimte met een overleefbare situatie, voer als brandweer de redding dan uit via een rookvrije route, creëer een rookvrije route of maak gebruik van een vluchtmasker.**

Het koppelen van optische rookmelders heeft voor ontvluchting met name een positief effect wanneer de brand zich beneden bevindt en de aanwezigen op de bovenliggende verdieping(en) zijn. Uit de praktijkexperimenten is gebleken dat de vluchttijd met circa 6 minuten werd verlengd wanneer de rookmelders in de verkeersruimten werden gekoppeld. Als een persoon zich in de brandruimte bevindt of op dezelfde verdieping, heeft het een neutraal effect, omdat de eerst aangesproken rookmelder in de verkeersruimte ook de dichtstbijzijnde melder is. In de huidige regelgeving is het koppelen van rookmelders alleen noodzakelijk

wanneer het geluidvolume niet overal wordt gehaald. Het koppelen van rookmelders blijkt echter niet alleen vanwege hoorbaarheid, maar juist vanwege de mogelijkheid voor eerdere ontvluchting van zeer grote meerwaarde.

**Conclusie 15: Het onderling koppelen van rookmelders in de verkeersruimten verhoogt de effectiviteit: het levert een aanzienlijke tijdswinst op in de mogelijkheden om bij brand de woning te ontvluchten.**

**Aanbeveling 15a: Neem in publieksvoorlichting op om altijd te kiezen voor gekoppelde rookmelders, minstens geplaatst in de verkeersruimten. Kies bij rookmelderacties bij voorkeur voor het uitdelen van koppelbare rookmelders.**

**Aanbeveling 15b: Neem de koppeling van rookmelders als standaard op in regelgeving.**

Het meeste effect wordt verkregen door zowel in de verkeersruimten als in de brandruimte een gekoppelde optische rookmelder te hangen. Dit heeft zowel een positief effect als men zich in de brandruimte, in een andere ruimte op dezelfde verdieping of bovenliggende verdieping bevindt. Dit zowel tot snellere ontdekking als tot grotere kans op ontvluchting. In aansluiting op het advies om de binnendeuren te sluiten en het negatieve effect in de brandruimte, is het daarom zinvol om ook in de gekoppelde rookmelder te plaatsen van in de brandruimte.

**Conclusie 16: Het plaatsen van gekoppelde rookmelders in de verkeersruimten én in alle ruimten met een kans op het ontstaan van brand, is het meest effectief om bij brand tijdig te kunnen vluchten.**

**Aanbeveling 16: Hang voor het zo volledig mogelijk afdekken van het brandrisico niet alleen een (gekoppelde) rookmelder op in de verkeersruimten maar ook in ruimten met een kans op het ontstaan van brand.**

In aansluiting op het bovenstaande kunnen drie beschermingsniveaus voor rookmelders worden onderscheiden:

- > Niveau 1 bestaat uit optische rookmelders in de hal en de overloop die overal voldoende hoorbaar zijn. Dit is vergelijkbaar met het vereiste niveau voor nieuwbouwwoningen en het minimale niveau uit de adviezen van de brandweer en rookmelderproducenten.
- > Niveau 2 bestaat uit gekoppelde optische rookmelders in de hal en overloop, en alle ruimten waarin je slapend aanwezig kunt zijn.
- > Niveau 3 bestaat uit de plaatsing in overloop, hal en alle potentiële brandruimten. Dit niveau biedt de hoogste bescherming.

Op basis van het onderliggende onderzoek wordt minimaal niveau 2 geadviseerd voor het plaatsen van rookmelders in woningen.

Samengevat is de aanbeveling om het volgende advies over plaatsing van rookmelders op te nemen in voorlichting aan burgers.

- > *Hang rookmelders op die onderling gekoppeld worden.*
- > *Kies voor rookmelders met een batterij met een lange levensduur of kies voor rookmelders op het lichtnet.*
- > *Hang de rookmelders niet alleen op in de hal en overloop, maar ook in de ruimten waarin weleens slapend verbleven wordt. Voor nog meer veiligheid: hang rookmelders in alle ruimten waarin brand verwacht kan worden (ruimte wasdroger, keuken, woonkamer).*
- > *Kies voor optische rookmelders, tenzij in bepaalde ruimten de rookmelder door stoom of stof telkens een loos alarm geeft. Plaats in dat geval een thermische melder.*
- > *Sluit altijd alle binnendeuren voor het slapengaan, en overdag ook in ruimten waar personen zich bevinden die niet zelfstandig kunnen vluchten.*
- > *Vlucht bij brand niet door dichte rook. Blijf in dat geval in de ruimte zonder rook met de binnendeur blijvend gesloten en maak aan de brandweer kenbaar waar je bent.*
- > *Aan mensen die niet zelfstandig kunnen vluchten bij brand is het advies om maatregelen te nemen die de kans op brand, en de effecten ervan, beperken. Maak met de directe omgeving afspraken hoe ze kunnen helpen met vluchten bij een eventuele brand.*

Samengevat is aan te bevelen de volgende punten op te nemen in beleid over rookmelders.

- > *Verhoog het percentage woningen met een werkende rookmelder. Stel daarom rookmelders verplicht in alle woningen, ongeacht het bouwjaar.*
- > *Stel eisen aan de geluidsfrequentie van rookmelders, waarbij een (veel) lagere frequentie (bijvoorbeeld 520 Hz) dan de nu gebruikelijke frequentie (3100 Hz) het uitgangspunt is.*
- > *Maak voor de geluidsterkte geen onderscheid tussen bedruimten en niet-bedruimten, maar stel voor alle ruimten een eis van ten minste 75 dB(A).*
- > *Neem de onderlinge koppeling van rookmelders op als standaard in de regelgeving.*
- > *Ga voor de locatie van de rookmelder uit van plaatsing in ten minste de verkeersruimte(n) en bij voorkeur in alle ruimten waarin men slapend kan verblijven. De plaatsing in alle potentiële brandruimten biedt de beste bescherming.*



# 8 Discussie

Het voorliggende onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders is het meest uitgebreide dat in de recente geschiedenis in Nederland is gedaan. Het was daarbij uniek dat de gelegenheid zich voordeed dit onderzoek te combineren met lopend onderzoek naar brandverloop. Hierdoor was het mogelijk daadwerkelijke branden in echte woningen met een realistische inrichting te creëren, om zo op een zo betrouwbaar mogelijke manier onderzoek te doen naar de effectiviteit van rookmelders.

Wel kent het onderzoek, net als ieder ander, een aantal beperkingen, welke zich met name richten op het uitgevoerde praktijkonderzoek. De belangrijkste is dat het 'slechts' zes branden betrof, in één type woning met één type woninginrichting. Niet alleen uit de experimenten, maar ook uit praktijkervaring is bekend dat het verloop van een woningbrand, de rookverspreiding en kansen voor ontvluchting en overleving sterk afhangen van een groot aantal factoren.

Het was onmogelijk om dusdanig met al deze aspecten te variëren dat de uitkomsten geldig zijn voor iedere woningbrand in Nederland. Immers, een andere lay-out van de woning, zoals een andere vorm van de woonkamer of een gesloten keuken, zou tot andere resultaten leiden. Ditzelfde geldt voor de bouwmaterialen van de woning: houten vloeren geven andere resultaten dan betonnen vloeren.

Ook verschillen in woninginrichting geven andere resultaten. In dit geval is uitgegaan van relatief goedkope meubels van een jong gezin, maar een zwaardere bank, massieve kasten of vloerbedekking op de trap kunnen leiden tot heel andere uitkomsten. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld voor het verplaatsen van de bank naar de andere kant van de ruimte. Naast praktische bezwaren om oneindig te variëren, was het voor de vergelijkbaarheid van de onderzoeksresultaten noodzakelijk dat de woningen zoveel mogelijk identiek waren.

De gebruikte soort woningen (relatief kleine, veelal slecht geïsoleerde jaren '30 arbeiderswoningen) staan weliswaar nog op veel plaatsen in Nederland, maar zijn niet te vergelijken met moderne, veelal betonnen gebouwen met een ander brandveiligheidsniveau. Hoewel het natuurlijk gewenst zou zijn ook in dit soort woningen vergelijkbare proeven uit te voeren, bleek dit helaas praktisch niet haalbaar in het onderzoek.

Zoals uit het literatuurhoofdstuk gebleken is, is er in de internationale wetenschappelijke literatuur discussie over welke grenswaarden voor overleefbaarheid het beste zijn om aan te houden. Van veel parameters geldt dat niet alleen de waarde zelf, maar ook de duur van de blootstelling ervan invloed heeft op de grenzen voor ontvluchting en overleefbaarheid. Nieuwe wetenschappelijke inzichten kunnen ertoe leiden dat in de toekomst andere grenswaarden gehanteerd worden. De gekozen grenswaarden zijn naar oordeel van de onderzoekers de juiste grenswaarden, met de huidige kennis en stand der wetenschap (april 2015). De gekozen parameters temperatuur, hittestraling (samen FEDhitte), CO (herrekend tot FEDtox), O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> zijn parameters waarvan bekend is dat mensen door overschrijding van de grenswaarden kunnen komen te overlijden bij brand. Er zijn echter nog veel meer verbrandingsproducten, zoals waterstofcyanide, waaraan men bij brand kan overlijden die tijdens de experimenten niet gemeten zijn. Daarnaast vormt slecht tot geen zicht door rook een belangrijke belemmering tijdens het vluchten, mogelijk nog voordat de gemeten omgevingscondities (gassen, hitte) de grenswaarden voor ontvluchting bereiken.

Wat betreft de grenswaarden moet daarnaast worden opgemerkt dat de grenswaarden leiden tot het niet meer kunnen vluchten en/of overleven van de brand voor 50% van de bevolking. Dat betekent dat de grenswaarden geen harde grenzen zijn. Het kan niet worden bepaald of een individuele persoon wel of niet overleefd, het is immers niet duidelijk tot welke 50% van de bevolking een individu hoort. Uiteraard spelen hierbij persoonskenmerken en gezondheidstoestand bij het ontstaan van de brand een rol.

Een ander aspect dat in ogenschouw genomen moet worden, is dat de parameters in iedere ruimte op één locatie zijn gemeten (behalve temperatuur, welke op twee hoogtes, en in de woonkamer ook op twee plaatsen gemeten is). Bekend is dat binnen een ruimte de waarden als gevolg van stroming en straling kunnen verschillen. Dit zou zowel een positief als een negatief effect kunnen hebben op de gemeten waarden voor ontvluchting en overleving. Het zou niet terecht zijn om op grond van de wetenschap dat andere details in het onderzoek tot andere resultaten kunnen leiden, te concluderen dat de resultaten niet waardevol zijn voor algemene uitspraken over de effectiviteit van rookmelders. Immers, als gesloten binnendeuren in dergelijke slecht geïsoleerde woningen effect hebben, is een dergelijk effect ook te verwachten in nieuwere woningen. Hetzelfde geldt voor verschillen die gevonden worden in de effectiviteit van de maatregelen. De resultaten en conclusies moeten daarom met de voorgaande opmerkingen in gedachten worden bezien: een exact resultaat dat een rookmelder na x minuten af ging, kan niet gegeneraliseerd worden naar iedere woning en iedere brand. Ook het exacte verschil in effect over hoeveel minuten het scheelt voor overleefbaarheid geldt niet voor iedere brand en iedere woning. Wél kan gesteld worden óf en wanneer rookmelders effectief zijn en welke maatregelen in algemene zin effect lijken te hebben. Het is daarom goed de resultaten op deze wijze te vertalen naar de praktijk van alle dag. Met deze informatie kunnen de overheid en burgers die verantwoordelijkheid nemen voor hun eigen brandveiligheid samen werken aan het terugdringen van het aantal slachtoffers bij woningbranden.

# 9 Literatuur

- Adviesraad Gevaarlijke Stoffen (2012). *Visie op ontwikkeling van letselcriteria voor preventief gebruik door hulpverleningsdiensten*. Den Haag: AGS.
- Ahrens, M. (2007). *U.S. experience with smoke alarms and other fire detection/alarm equipment*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Ahrens, M. (2008). Home Smoke Alarms: The Data as Context for Decision. *Fire Technology*, 44, 313-327.
- Ahrens, M. (2011a). *Smoke alarms in US home fires*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Ahrens, M. (2011b). *Unwanted Fire Alarms*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Akker, I., Tieben, L.A.W., Bos, J.G.H. & Veen, M.J. Van der (2010). *Investeren in brandveiligheid. Maatschappelijke kosten-batenanalyse woningbrand*. Den Haag: SEO Economisch Onderzoek.
- Ball, M. & Bruck, D. (2004). The effect of alcohol upon response to fire alarm signals in sleeping young adults. In: Shields, J. (Ed.). *Proceedings of the Third Human Behaviour in Fire Conference*, pp. 291-302. London: Interscience Communications.
- Berg, M. Van den, Janssen, K., Tieben, B. (2009). *Brandveiligheid: Wie doet wat, hoe en waarom?* Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.
- Brandweer Amersfoort (2007). *Presentatie Veilig wonen, Kruiskamp, Eindevaluatie november 2006 – juni 2007*. Amersfoort: Brandweer Amersfoort.
- Brandweer Amersfoort (2008). *Presentatie Veilig wonen, Liendert, Resultaten april-november 2008*. Amersfoort: Brandweer Amersfoort.
- Brandweer Nederland (2014). *Brandveilig wonen, tips voor een brandveilige woning. Brandweer Nederland*. Arnhem: Brandweer Nederland.
- Brennan, P. & Bruck, D. (2001). *Report on reaction of adults to fire related cues while asleep*. Melbourne: Centre for Environmental Safety and Risk Engineering.
- Brown, S.K. & Cheng, M. (2000). *Volatile organic compounds (VOCs) in new car interiors*. Gepresenteerd op: 15th International Clean Air & Environment Conference, Sydney, Australia.
- Bruck, D. (1999). Non-awakening in children in response to a smoke detector alarm. *Fire Safety Journal*, 32, 369-376.
- Bruck, D. & Bliss, R.A. (2000). *Sleeping children and smoke alarms*, pp. 602-613. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, Asia-Oceania Association for Fire and Technology, Tokyo.
- Bruck, D. & Thomas, I. (2006). *Reducing fire deaths in older adults. Investigation of auditory arousal with different alarm signals in sleeping older adults*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Bruck, D. & Thomas, I. (2007). *Optimizing fire alarm notification for high risk groups research project. Waking effectiveness of alarms (auditory, visual and tactile) for adults who are hard of hearing*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Bruck, D. & Thomas, I. (2008a). *Towards a Better Smoke Alarm Signal – an Evidence Based Approach*, pp. 403-414. Fire Safety Science – Proceedings of the Ninth International Symposium.

- Bruck, D. & Thomas, I. (2008b). Comparison of the effectiveness of different emergency notification signals in sleeping older adults. *Fire Technology*, 44(1), 15-38. Doi: 10.107/S10694-007-0017-5
- Bruck, D., Thomas, I. & Ball, M. (2007). *Waking effectiveness of alarms (auditory, visual and tactile) for the alcohol impaired*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Buettner, K. (1951). Effects of Extreme Heat and Cold on Human Skin. II. Surface Temperature, Pain and Heat Conductivity in Experiments with Radiant Heat. *Journal of Applied Physiology*, 3, 703-713.
- Bukowski, R.W., Peacock, R.D., Averill, J.D., Cleary, T.G., Bryner, N.P., et al. (2008) *Performance of Home Smoke Alarms. Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings*. Washington DC: NIST.
- Burgwal, B. Van de (2014). *Evaluatie project brandveiligheid Stadskern*. Amersfoort: Gemeente Amersfoort.
- Centers for Disease Control and Prevention (2005). Trends in Vision and Hearing Among Older Americans. In: Lee, A. (Ed.). *The audibility of smoke alarms in residential homes*. Maryland: Consumer Product Safety Commission.
- Cleary, T. (2014). Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study. *Fire Technology*, 50, 775-790.
- DiGuseppi, C., Goss, C.W., & Higgins, J.P.T. (2009). *Interventions for promoting smoke alarm ownership and function*. UK: JohnWiley & Sons, Ltd.
- Dinaburg, J. & Gottuk, D. (2014). *Smoke Alarm Nuisance Source Characterization – Phase 1, Final Report*. Quincy, MA: NFPA, 2014.
- Elneil, H. (1968). *Man in Hot and Cold Environments, A Companion to Medical Studies*, pp. 40.1-40.7.
- Gann, R.G., Averill, J.D., Butler, K.M., Jones, W.W. & Mulholland, G.W. (2001). *International Study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survivability and Health (SEFS): Phase I Final Report*. Washington: NIST.
- Geluidnieuws (mei, 2012). *De grote geluidmeetaptest*, gevonden op: <http://www.geluidnieuws.nl/2012/mei2012/ostendorf/app.html>
- Geluidnieuws (juli, 2013). *De grote geluidmeetaptest*, gevonden op: <http://www.naabv.nl/nieuws/actueel/smartphone-als-geluidsmeter#.VN3bildgXIU>
- Greenstreet (2009). *A statistical report to investigate the effectiveness of the Furniture and Furnishing (Fire) (Safety) Regulations 1988*. London: Greenstreet Berman Ltd.
- Groenewegen, K., Kobes, M., Mertens, C. & Rossum, W. Van (2013). *Fatale woningbranden 2008 t/m 2012: een vergelijking*. Arnhem: IFV.
- Guillaume, E., Didieux, F., Thiry, A. & Bellivier, A. (2014). Real-scale fire tests of one bedroom apartments with regard to tenability assessment. *Fire Safety Journal*, 70, 81-97.
- Harvey, P.A., Aitken, M.A., Ryan, G.W., Demeter, L.A., Givens, J., et al. (2004). Strategies to Increase Smoke Alarm Use in High-Risk Households. *Journal of Community Health*, 29(5), 375-385.
- Hazebroek, J.C., Greven, F.E., Groenewegen, K., Dikkenberg, R. Van den (2015). *Het kan verkeren. Beschrijvend onderzoek naar brandontwikkeling en overleefbaarheid bij woningbranden*. Arnhem: IFV.
- Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) (2013). *Brandveiligheid Studentenhuisvesting 2013 - Kamergewijze verhuur*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- International Organization for Standardization (2012). *ISO 13751; 2012, Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jin, T. & Yamada, T. (1985). Irritating effects on fire smoke visibility. *Fire science and technology*, 5(1), 79-89.

- Kaplan, H. L., Grand, A. F., Switzer, W. G., Mitchell, D. S., Rogers, et al. (1985). Effects of Combustion Gases on Escape Performance of the Baboon and the Rat. *Journal Fire Sciences*, 3(4), 228-244.
- Kenney, W.L., DeGroot, D.W. & Holowatz, L.A. (2004). Extremes of Human Heat Tolerance: Life at the Precipice of Thermoregulatory Failure. *Journal of Thermal Biology*, 29, 479-485.
- Kobes, M. (2008). *Zelfredzaamheid bij brand. Kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen*. Den Haag: Juridische uitgevers.
- Kobes, M. (2014). *Analyse database brandonderzoek TBO 2010-2012*. Arnhem: Brandweer Nederland en IFV.
- Kobes, M., Groenewegen, K. & Winkelhorst, R. (2009). *Fatale woningbranden 2008*. Arnhem: NIFV.
- Lee, A. (2005). *The audibility of smoke alarms in residential homes*. Bethesda, MD: Consumer Product Safety Commission.
- Linssen, J.P.A. (2011). *Brand in huis - "Overleven of overlijden"*. Bachelorscriptie, Hanzehogeschool Groningen.
- Lipsett, M.J., Shusterman, D.J. & Beard, R.R. (1994). Industrial hygiene and toxicology, Vol. II, part F. - Phosgene. In: Raaij, M.T.M. Van & Schefferlie, G.J. (Eds.) (2006). *De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten hypoxische omgeving*. Utrecht: RIVM/SIR.
- Meulenbelt, J., Vries, I. De & Joore, J.C.A. (1996). *Behandeling van acute vergiftingen, praktische richtlijnen*. Houten: Bohn, Stafleu Van Loghum.
- Miller, I. (2005). *Human Behaviour Contributing to Unintentional Residential Fire Deaths 1997-2003*. New Zealand: Heimdall Consulting Ltd.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en CBS (2012). *WoON. Database WoonOnderzoek Nederland (WoON)*. Den Haag; Ministerie van Binnenlandse Zaken en CBS.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2003). *Regeling Bouwbesluit 2003, Algemene Maatregel van Bestuur*.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2012). *Regeling Bouwbesluit 2012, Algemene Maatregel van Bestuur*.
- Nederlandse Brandwonden Stichting (2014). *Evaluatie Campagne 2013 'Wat doe JIJ bij brand?' Nationale Brandpreventieweken*. Beverwijk: Nederlandse Brandwonden Stichting.
- Nederlands Normalisatie-instituut (2008). *NEN 2555; 2008, Brandveiligheid van gebouwen*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- O&S Alkmaar (2011). *Omnibusonderzoek 2011. Rookmelders*. Alkmaar: Onderzoek & Statistiek Alkmaar.
- O&S Zoetermeer (2013). *Omnibussenquête 2012. Deelrapport Veiligheid*. Zoetermeer: Onderzoek & Statistiek Zoetermeer.
- O&S Zwolle (2011). *BrandVeilig Leven. Onderzoek naar burgerparticipatie en zelfredzaamheid bij brandveiligheid onder de inwoners van de gemeente Kampen*. Zwolle: Onderzoek & Statistiek.
- Occupational Safety and Health Administration (2015). *Regulation 1910.95 [geluidsblootstelling]*, gevonden op: [http://eastwoodamps.com/geluid en decibel.html](http://eastwoodamps.com/geluid%20en%20decibel.html)
- Onbekend (2010). *Tussenstand campagne 'Smokey de Rookmelder'*. Assen.
- Parmer, J.E., Corso, Ph. & Ballesteros, M. (2006). A cost analysis of a smoke alarm installation and fire safety education program, *Journal of Safety Research*, 37, 367-373.
- Pedersen, K.J. & Steen-Hansen, A. (2005). Can Fatal Fires be Avoided? The Impact of Domestic Smoke Alarms on Human Safety. *Heron*, 50(4), 341-360.
- Peek-Asa, C., Allareddy, V., Yan, J., Taylor, C., Lundell, J. & Zwerling, C. (2005). When One is Not Enough: Prevalence and Characteristics of Homes not Adequately Protected by Smoke Alarms. *Injury Prevention*, 11, 364-368.

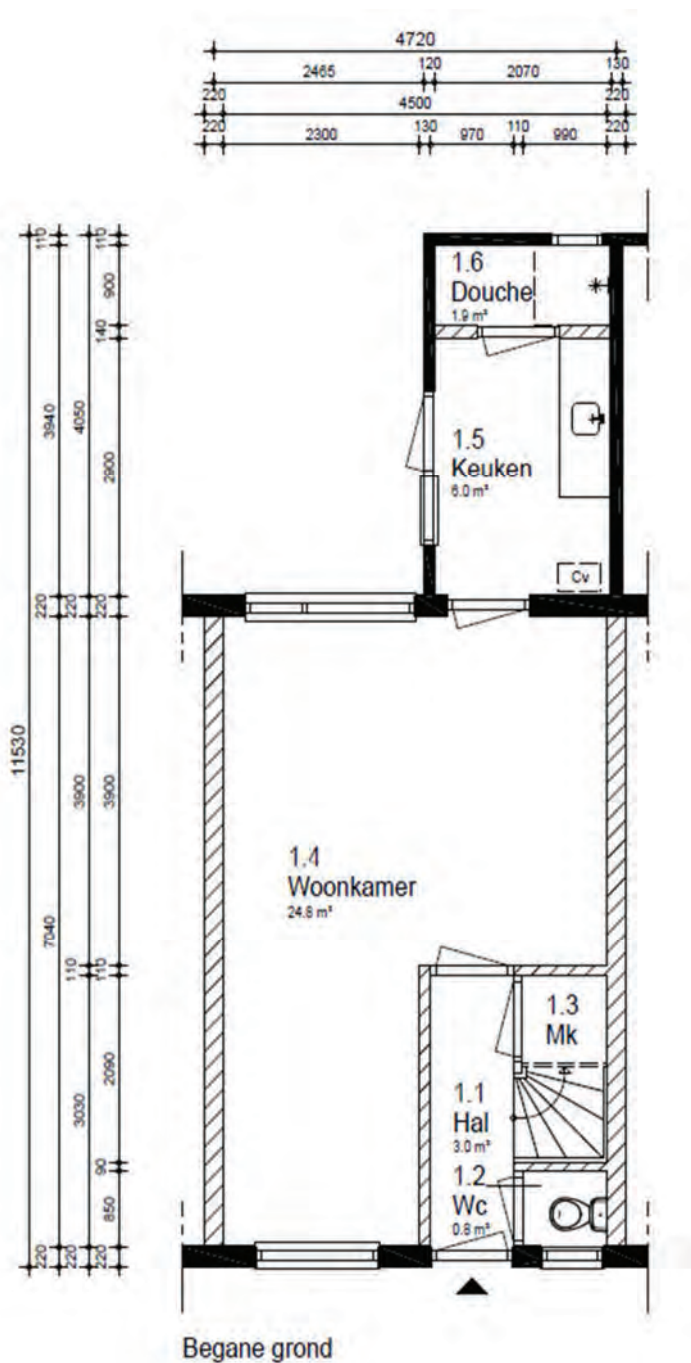


- Purser, D. (2002). Toxicity Assessment of Combustion Products. In: DiNenno, P.J. (Ed.), *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Raaij, M.T.M. Van & Schefferlie, G.J. (2006). *De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten hypoxische omgeving*. Utrecht: RIVM/SIR.
- Rowland, D., DiGuseppi, C., Roberts, I., Curtis, K., Roberts, H., et al. (2002). Prevalence of working smoke alarms in local authority inner city housing: Randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 325(7371), 998-1001.
- Shults, R.A., Sacks, J.J., Briske, L.A., Dickley, P.H., Kinde, M.R., et al. (1998). Evaluation of three smoke detector promotion programs. *American Journal of Preventive Medicine*, 15(3), 165-171.
- Simms, D.L. & Hinkley, P.L. (1963). *Protective Clothing against Flames and Heat, Fire Research Report No. 3*. London: Her Majesty Stationary Office.
- Smith, G., Splaingard, M., Hayes, J. & Xiang, H. (2006). Comparison of a personalized parent voice smoke alarm with conventional residential tone smoke alarm for awakening children. *Pediatrics*, 118, 1623-1632.
- Smits, C., Kramer, S.E. & Houtgast, T. (2006). Speech reception thresholds in noise and self-reported hearing disability in a general adult population. *Ear and Hearing*, 27, 538-549.
- Stichting Nationale Brandpreventieweek (2009). *Evaluatie rookmeldercampagne 2008*. Beverwijk: Stichting Nationale Brandpreventieweek.
- Struttmann, T., Scheerer, A., Prince, S. & Goldstein, L. (1998). Unintentional carbon monoxide poisoning from an unlikely source. *Journal of the American board of family practice*, 11, 481-484.
- TBI Purmerend (2011). *Omnibusenquête Purmerend 2011*. Purmerend: Gemeente Purmerend.
- Teerns, M. Van (2013). *Rookmelders in Stad en wijken. Bevolkingspeiling 2012*. Groningen: Onderzoek en Statistiek Groningen.
- Thomas, I. & Bruck, D. (2010). *Smoke Alarms in Dwellings: Timely Activation and Effective Notification*. Melbourne: Centre for Environmental Safety and Risk Engineering.
- Veghte, J.H. (1982). *Fire Service Today*, 49, 16.
- Vereniging Eigen Huis (oktober, 2009). *Eigen huis magazine*.
- Vellinga, M. (2013). *Onderzoek brandveiligheidsbewustzijn te Peize*. Afstudeerscriptie voor de opleiding *Integrale Veiligheidskunde*. Deventer: Saxion Hogeschool Deventer.
- Wang, Z., Jia, F. & Galea, E.R. (2010). A generalized relationship between the normalized yields of carbon monoxide and hydrogen cyanide. *Fire Mater*, 35(8), 577-591.
- Warda, L., Tenenbein, M. & Moffatt, M.E.K. (1999). House fire injury prevention update. Part II. A review of the effectiveness of preventive interventions. *Injury Prevention*, 5, 217-225.
- Wilson, J., Akoto, J., Dixon, S. & Jacobs, D. (2008). *Evaluation of the 10-Year Smoke Alarm Project*. National Center for Healthy Housing.

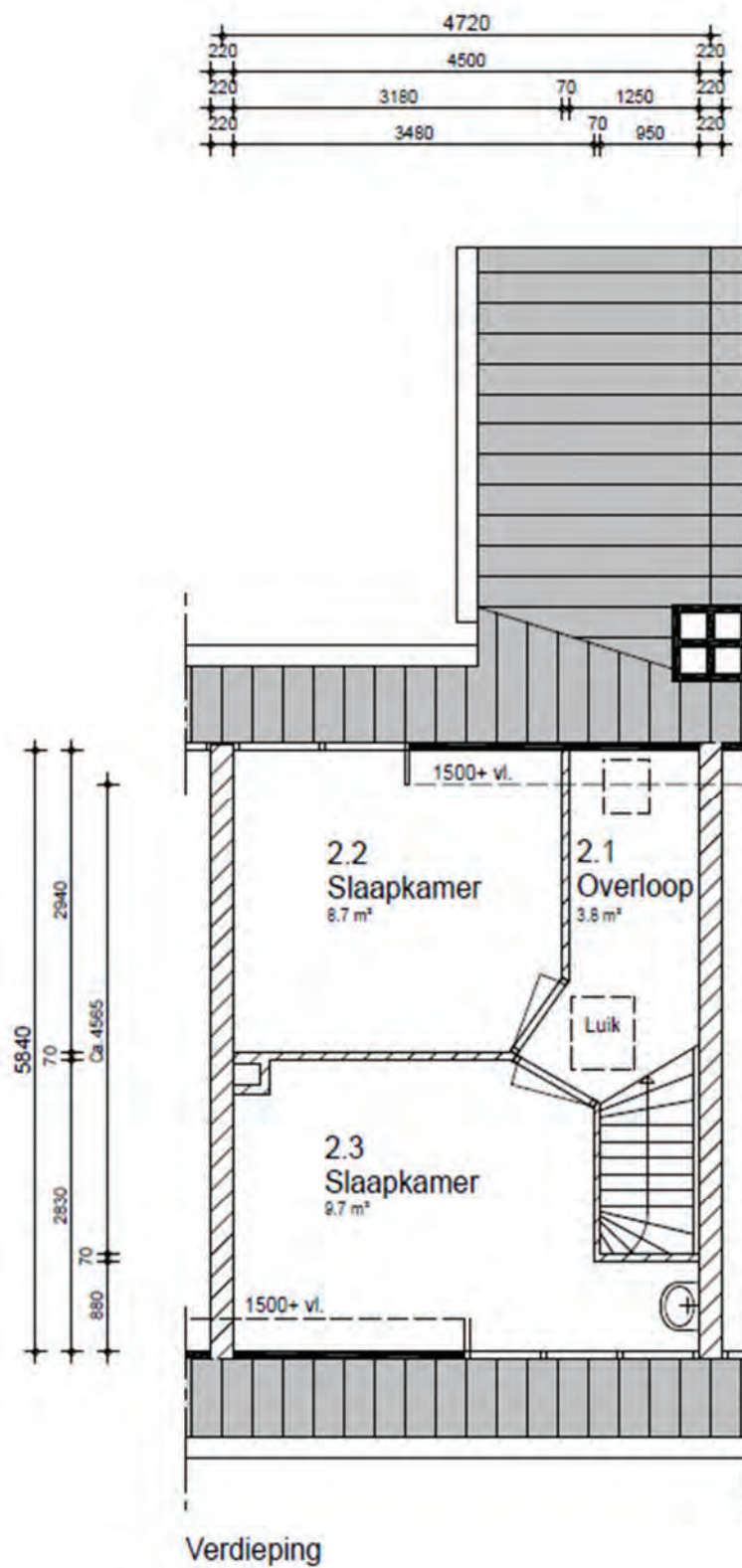


# Bijlage 1: Plattegronden woningen, inrichting en meetapparatuur

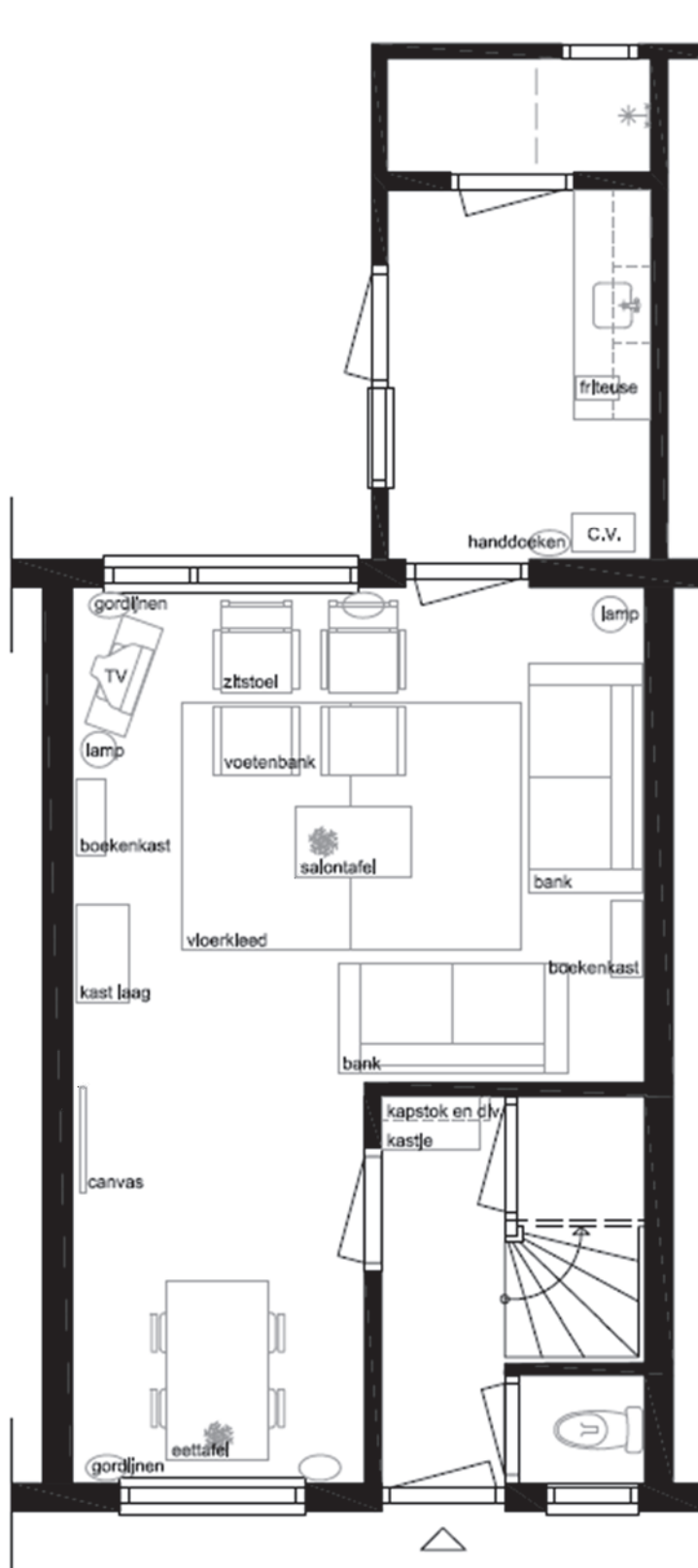
## Plattegrond woning begane grond



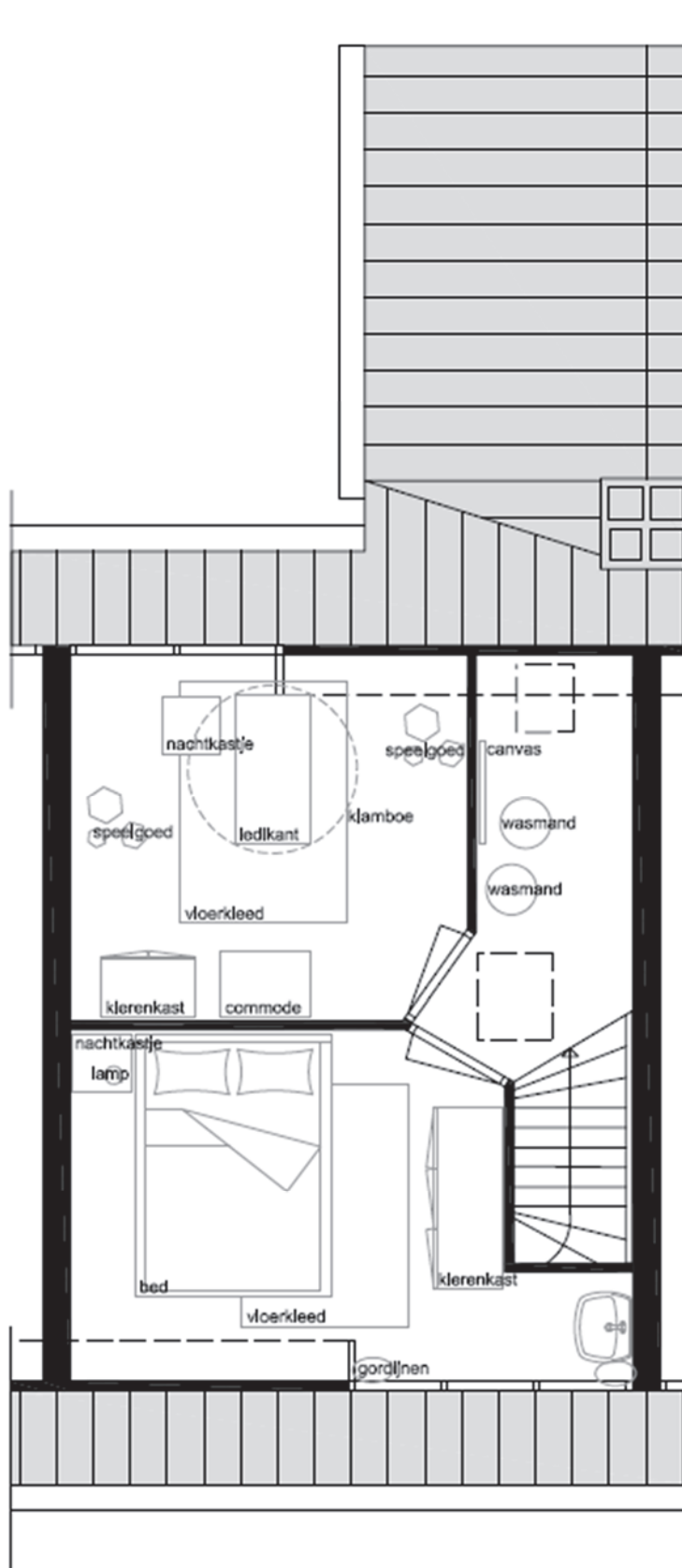
## Plattegrond woning eerste verdieping



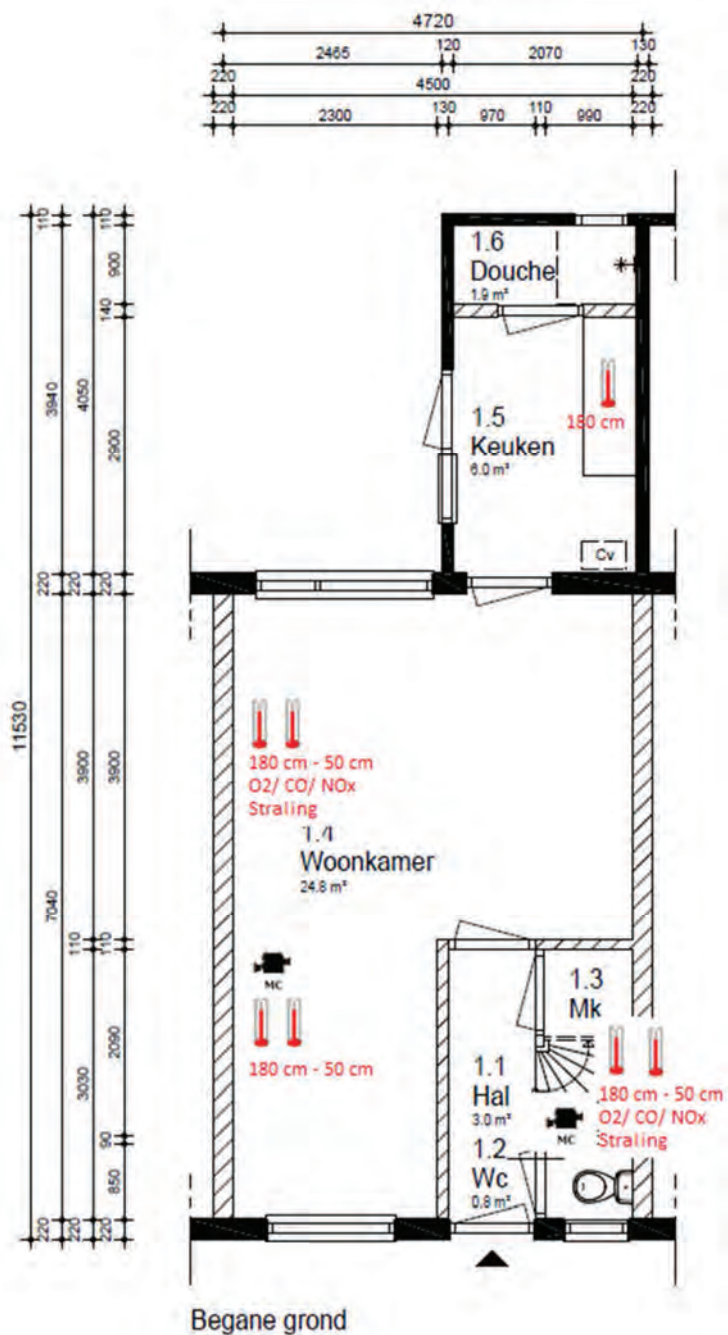
## Plattegrond inrichting begane grond



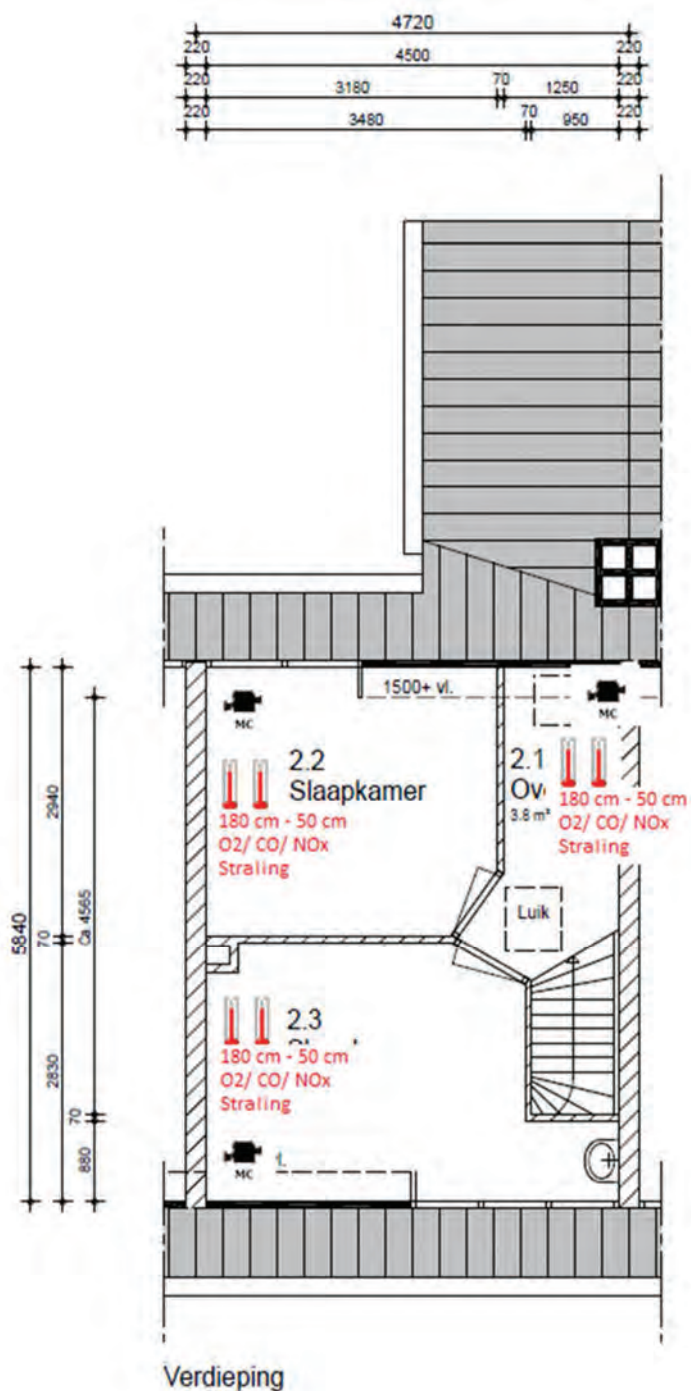
## Plattegrond inrichting eerste verdieping



# Plattegrond meetapparatuur begane grond



# Plattegrond meetapparatuur eerste verdieping





# Bijlage 2:

## Bepaling grenswaarden

Om vast te kunnen stellen in hoeverre mensen (onbelemmerd en) zelfstandig uit een brand-situatie in een woning kunnen vluchten, moet eerst gedefinieerd worden welke factoren van invloed zijn op ontvluchting en welke meetwaarden daaraan gekoppeld moeten worden. Hetzelfde geldt voor de redding van eventuele slachtoffers die onverhoopt in een brandende woning achterblijven. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat een aanwezige in de woning, totdat dit echt niet meer mogelijk is, kan en wil vluchten. Als men echter niet (meer) kan vluchten, bijvoorbeeld vanwege een beperkte mobiliteit of vanwege een vluchtroute die geblokkeerd is, dan spelen de grenswaarden voor overleefbaarheid een belangrijke rol. Ook al raakt een persoon bedwelmd, de situatie is pas 'verloren' als een slachtoffer door de effecten van de brand komt te overlijden. Een belangrijke overweging hierbij is dat de grenswaarden voor vluchten en overleven om meerdere redenen arbitrair zijn:

- > Er is geen 100 procent eenduidigheid in de definiëring van 'overleefbaarheid' en 'vluchten'. In literatuur worden verschillende begrippen genoemd als letaliteit, levensbedreigende waarde, et cetera. Enkele definities noemen echter een situatie letaal als 1 procent van de bevolking overlijdt; andere definities gaan uit van 50 procent van de bevolking.
- > Niet alle effecten van brand op mensen zijn bekend en er is discussie over de wijze waarop de bekende effecten gemeten zijn. Zo is bijvoorbeeld het effect van hitte op mensen getest voor de tijdsduur waarin een persoon bereid is om in een bepaalde omgevingshitte te verblijven, maar het effect van verbrandingsgassen is bijvoorbeeld voornamelijk op proefdieren getest (muizen, ratten, primaten). De vraag is in hoeverre deze meetgegevens toepasbaar zijn op mensen.
- > Bovendien worden overleefbaarheid en onbelemmerd vluchten niet alleen bepaald door 'harde' instantane grenswaarden, maar ook door de totale dosis van het betreffende effect (hitte of verbrandingsgassen) waaraan een persoon wordt blootgesteld.
- > Bij brand wordt de gezondheid van slachtoffers maar zelden slechts door één factor bedreigd. Wanneer er bijvoorbeeld sprake is van aanwezigheid koolstofmonoxide (CO), zijn er veelal ook stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en andere verbrandingsgassen aanwezig. Waar een hoge temperatuur is, is veelal ook sprake van hittestraling (en CO en NO<sub>x</sub>). De onderlinge invloed van deze factoren op elkaar is amper kwantificeerbaar.
- > Niet alle effecten van brand zijn meetbaar (tot nog toe). Zo is het bijvoorbeeld bekend dat mensen verschillend reageren op brand: de ene persoon is meteen geneigd tot vluchten, de andere zal meteen de brand willen blussen, maar de meesten doen in eerste instantie niets om zichzelf in veiligheid te brengen. Maar het is niet bekend in hoeverre mensen niet vluchten omdat ze het gevoel hebben dat dit niet meer mogelijk is, terwijl de situatie feitelijk nog niet bedreigend is. Door deze psychologische effecten is de daadwerkelijk beschikbare vluchttijd mogelijk korter dan op basis van grenswaarden berekend wordt.

Voor het bepalen van de grenswaarden voor ontvluchting en overleefbaarheid wordt uitgegaan van de meetbare/gemeten parameters in het onderzoek. Dit zijn:

1. Hitte in de vorm van temperatuur in graden Celsius (°C) en straling in kilowatt per vierkante meter (kW/m<sup>2</sup>)
2. Verstikkende rookgassen in de vorm van koolstofmonoxide in parts per million (ppm)
3. Verstikkende omstandigheden in de vorm van een te laag zuurstofpercentage (%).
4. Irriterende rookgassen in de vorm van stikstofoxiden in parts per million (ppm).

Van bovenstaande parameters zal een beknopt overzicht gegeven worden van de gevonden literatuur, waarmee de uiteindelijke keuze voor de grenswaarde gemotiveerd wordt. Daarbij is in de basis uitgegaan van de grenswaarden zoals genoemd in Hazebroek e.a. 2015. Echter, waar er sprake is van nieuwe wetenschappelijke inzichten zijn deze grenswaarden aangepast. Ook is er aansluiting gezocht bij grenswaarden in internationaal geldende richtlijnen voor Fire Safety Engineering.

## Hitte

### Ontvluchting

Hitte bestaat uit temperatuur en straling. In paragraaf 3.4.2 is weergegeven dat de gebruikelijke grenswaarde voor ontvluchting voor de temperatuur 120 °C is, en voor straling 2,5 kW/m<sup>2</sup><sup>87</sup>.

Echter, Purser (2002) constateert dat het effect van straling en convectie met elkaar samenhangen en tijdgerelateerd zijn. Voor de kansen op ontvluchting is daarom niet een absolute grenswaarde, maar een dosis van belang. Voor onderzoek naar ontvluchting kan de hitteblootstelling bepaald worden door deze te berekenen op basis van temperatuur en straling.

Dit wordt de Fractional Effective Dose (FED)' voor hitte, oftewel 'FEDhitte' genoemd. In ISO 13571 (2012)<sup>88</sup> wordt het effect van hitte als gevolg van convectie en straling gecombineerd in een formule voor de 'Fractional Effective Dose (FED)' voor hitte, hieronder weergegeven als 'FEDhitte'.

$$FED_{hitte} = \sum_{t_1}^{t_2} (1/t_{convectie} + 1/t_{straling}) \Delta t$$

$t_{convectie}$  en  $t_{straling}$  staan voor de tijd die draaglijk is als gevolg van convectie- en stralingshitte. De tijd (in minuten) wordt als volgt geformuleerd voor mensen die niet of slechts licht gekleed zijn<sup>89</sup>.

$$t_{straling} = 4,2q^{-1,9}$$

en

$$t_{convectie} = (5,1 \times 10^7) T^{-3,4}$$

Waarin:

T = luchttemperatuur in °C

q = stralingsflux in kW/m<sup>2</sup>

Wanneer de stralingsflux onder de 2.5 kW/m<sup>2</sup> blijft, wordt  $t_{straling} = 0$  aangenomen, aangezien dan de tolerantieperiode geschat wordt op 30 minuten of meer.

De FED is uitsluitend toepasbaar voor het bepalen van de kans op ontvluchting, en niet op overleven. De laagste grenswaarde voor FED is '0,3'. Deze waarde is gerelateerd aan de vluchtkansen voor de meest gevoelige personen, zoals ouderen, kinderen en mensen met een verzwakt immuunsysteem. Ongeveer 11% van de bevolking valt in deze categorie. De

<sup>87</sup> Hazebroek e.a. 2015 gaat uit van 150 °C en 2 kW/m<sup>2</sup>

<sup>88</sup> Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.

<sup>89</sup> Er bestaat ook een formule voor mensen die volledig gekleed zijn.

tweede grenswaarde is '1', wat de grens aangeeft voor 50% van de bevolking. De grenswaarde van '3' representeert de grens voor ongeveer 89% van de bevolking. Zie ook tabel 39.

Tabel 39: Grenswaarden voor FED

FED waarde	Geschat deel van de bevolking dat bij het vluchten ernstig belemmerd wordt
0,0 < FED ≤ 0,3	0 < % ≤ 11
0,3 < FED ≤ 1,0	11 < % ≤ 50
1,0 < FED ≤ 3,0	50 < % ≤ 89
FED ≥ 3,0	% > 89

### Overleefbaarheid

Voor overleving zijn er geen uniforme grenswaarden voor temperatuur bekend. Aangenomen wordt op basis van Purser (2002) dat een temperatuur van 120 °C<sup>90</sup> op slachtofferniveau (50 cm) leidt tot het niet kunnen overleven van de brand. Wat betreft straling wordt gekozen voor een grenswaarde van 6 kW/m<sup>2</sup>, omdat uit tabel 10 (zie paragraaf 3.4.2) blijkt dat een persoon aan deze straling slechts 7 seconden kan worden blootgesteld.

## Koolstofmonoxide

### Ontvluchting

Koolstofmonoxide wordt over het algemeen gezien als één van de belangrijkste parameters voor beperking van de mogelijkheden tot ontvluchting en overleving.

In aansluiting op grenswaarde voor hitte in de vorm van een dosisberekening, kan de grenswaarde voor koolstofmonoxide voor ontvluchting aan de hand van een dosisberekening worden bepaald. Volgens ISO 13571 (2012) kunnen de *tenability limits* voor asfyxiërende stoffen als volgt worden bepaald:

$$FED = \sum_{t_1}^{t_{\infty}} \frac{\varphi_{CO}}{35000} \vartheta_{CO_2} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_{\infty}} \exp\left(\frac{\varphi_{HCN}/43}{220}\right) \vartheta_{CO_2} \Delta t$$

De 'Fractional Effective Dose (FED)' houdt rekening met zowel de aanwezigheid van koolstofmonoxide als van waterstofcyanide (HCN) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). Deze laatste twee zijn bij de praktijkexperimenten niet gemeten en daarom zullen aannames moeten worden gedaan.

De aanname wordt gedaan dat de CO<sub>2</sub> waarde niet de 2 volumeprocent overschrijdt, waardoor deze niet in de berekening wordt meegenomen.

Wat betreft HCN is bekend dat bij veel branden de concentratie van HCN toeneemt wanneer de concentratie CO toeneemt. Door Wang, Jia en Galea (2010) is beredeneerd dat de concentraties van beide stoffen direct tot elkaar in verhouding staan. Uit een recent praktijkonderzoek naar brand in een volledig ingerichte woning (Guillaume e.a., 2014) blijkt dat de verhouding CO : HCN, bij de verbranding van een matras, na 5 minuten na de start van de test ongeveer 1 : 0,007 is. Na 10 minuten is de verhouding 1 : 0,008 en op het einde van de test 1 : 0,014. Op basis hiervan kan, wanneer alleen CO gemeten wordt, bij de verbranding van

<sup>90</sup> Hazebroek e.a. 2015 gaat uit van 150 °C.

polystyreenschuim, de uitstoot van HCN geschat worden op 1% ppm HCN<sup>91</sup> per ppm CO uitstoot.

Omdat de HCN niet gemeten is in de experimenten, is in aanvulling op de FEDtox, ook gekeken naar een methode waarbij alleen de dosis CO uitgangspunt is. Hierbij is uitgegaan van de AEGL-waarde. De Committee on Acute Exposure Guidelines (AEGL) gaat bij verschillende blootstellingsduren uit van drie niveaus van grenswaarden. In tabel 40 zijn de verschillende AEGL-niveaus beschreven.

Tabel 40: AEGL-niveaus

Niveau	Beschrijving
AEGL-1	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m3) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen, opmerkelijke ongemak, irritatie, of bepaalde asymptomatische niet-sensorische effecten ervaren. Echter, de effecten van de gevolgen zijn beperkt en van voorbijgaande aard. Er is geen blijvend effect na beëindiging van de blootstelling. Symptomen: Lichte verbranding van de ogen, lichte hoofdpijn, benauwdheid of moeizame ademhaling bij inspanning voor 7 van de 13 astmapatiënten.
AEGL-2	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m3) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen, onomkeerbare of andere ernstige, langdurige schadelijke gevolgen voor de gezondheid ervaren of een verminderd vermogen om te vluchten. Symptomen: Brandend gevoel in neus en borst, hoesten, kortademigheid, speekselproductie
AEGL-3	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m3) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen levensbedreigende gevolgen voor de gezondheid of de dood ervaren. Symptomen: Duidelijke irritatie, histopathologische veranderingen in de longen, fibrose en oedeem van hartweefsel, necrose in de lever.

Bron: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/define.htm>

De grenswaarden voor de AEGL-niveaus voor koolstofmonoxide zijn als volgt:

Tabel 41. AEGL-niveaus koolstofmonoxide

	10 minuten	30 minuten
AEGL-1	Onvoldoende data	Onvoldoende data
AEGL-2	420 ppm	150 ppm
AEGL-3	1700 ppm	600 ppm

Voor ontvluchting zijn de waarden van AEGL-2 van toepassing.

#### Overleefbaarheid

<sup>91</sup> Dit is in afwijking van Hazebroek e.a. 2015 op basis van nieuwe wetenschappelijk inzichten

Voor grenswaarden voor overleefbaarheid zijn geen duidelijke grenswaarden gesteld. Eén van de gebruikte methoden is het gebruik van de waarden van AEGL-3 (zie boven). Daarnaast blijkt uit de literatuur dat bij een hoge concentratie er ook sprake is van een onmiddellijk effect. Zie ook paragraaf 3.4.3. Er is in de wetenschappelijk literatuur geen eenduidigheid over de hoogte van deze grenswaarde.

Zo stelt Hazebroek e.a. 2015 op basis van literatuur grenswaarden op een blootstelling van 3 minuten aan een concentratie van 12.800 ppm. Het Belgisch Anti-gifcentrum stelt de grenswaarde op een blootstelling van meer dan 10 minuten aan een concentratie van 6400 ppm<sup>92</sup>. In Brown & Cheng (2000) wordt genoemd dat een concentratie van 8000 ppm acuut dodelijk is.

Vanwege de onduidelijke grenzen voor overleefbaarheid voor CO is ervoor gekozen om de AEGL-3 leidend te laten zijn voor overleefbaarheid, maar ook de andere drie grenswaarden hierboven te berekenen als extra informatie.

## Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)

### Ontvluchting

Op soortgelijke wijze als de FEDtox (voor CO en HCN) wordt bepaald bij asfyxiërende stoffen, kan de gecombineerde invloed van irriterende stoffen bepaald worden door een FEC (fractional effective concentration) te berekenen. Hierin wordt voor NO<sub>x</sub> een grenswaarde van 250 ppm aangehouden waarboven mensen met een gemiddelde gevoeligheid niet meer kunnen vluchten. In het geval van irriterende stoffen is NO<sub>x</sub> echter slechts één van de vele stoffen die bij elkaar opgeteld de FEC bepalen. Andere belangrijke stoffen die voor het bepalen van de FEC in ISO 13751 worden genoemd zijn waterstofchloride (HCl), waterstofbromide (HBr), waterstoffluoride (HF), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), acroleïne (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O) en formaldehyde (CH<sub>2</sub>O). Omdat bovenstaande stoffen in de praktijkexperimenten niet gemeten zijn, levert de FEC geen betrouwbare grenswaarde.

Een alternatief is het gebruik maken van de AEGL-waarden. Dit is voor stikstofoxiden niet ongebruikelijk, zoals gebruikt in Guillaume 2014. Hierbij wordt uitgegaan van de AEGL-niveaus van stikstofdioxiden. Voor NO<sub>x</sub> wordt 50 procent letaliteit onder de bevolking pas bij zeer hoge waarden bereikt, maar een concentratie NO<sub>x</sub> vanaf AEGL-3 geeft (zonder medische behandeling) wel een grote kans op lange termijn gezondheidsschade of voor gevoelige groepen zelfs vertraagd overlijden. Zie ook tabel 42.

In tabel 42 zijn de waarden voor de verschillende AEGL-niveaus weergegeven voor stikstofoxiden. AEGL-2 wordt gebruikt als grenswaarde voor ontvluchting.

Tabel 42: Grenswaarden voor AEGL voor stikstofoxiden

Niveau	Stikstofoxiden (NO <sub>2</sub> )	
	10 min	30 min
AEGL-1	0,5 ppm	0,5 ppm
AEGL-2	20 ppm	15 ppm
AEGL-3	34 ppm	25 ppm

### Overleving

Voor overleving wordt uitgegaan van de AEGL-3 waarde.

<sup>92</sup> <http://www.antigifcentrum.be/co-vergiftiging/co-wetenschappelijk-bekeken/wat-zijn-toxische-gehalten-aan-co>

## Samengevat

Samengevat gelden de volgende grenswaarden voor ontvluchting en overleving:

Tabel 43: Parameters en grenswaarden

Parameter	Grenswaarde ontvluchting	Grenswaarde overleefbaarheid
Hitte (convectie + straling)	FEDhitte $\geq 1$	$T \geq 120$ °C op 0,5m hoogte $q \geq 6$ kW/m <sup>2</sup>
CO (+ 1% ppm HCN per ppm CO)	FEDtox $\geq 1$ OF 10 min AEGL-2 (CO $\geq 420$ ppm)	10 min AEGL-3 (CO $\geq 1700$ ppm) 30 min AEGL-3 (CO $\geq 600$ ppm)
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> $\leq 13\%$	O <sub>2</sub> $\leq 6\%$
NO <sub>x</sub>	10 min AEGL-2 (NO <sub>x</sub> $\geq 20$ ppm)	10 min AEGL-3 (NO <sub>x</sub> $\geq 34$ ppm)



# Bijlage 3:

## Meetwaarden brandtesten

### Overschrijding van grenswaarden voor ontvluchting en overleefbaarheid<sup>93</sup>

In tabel 44 zijn de tijden opgenomen waarop de grenswaarden voor de kans op ontvluchting en voor de kans op het overleven van de brand als eerste worden overschreden. De grenswaarden voor 50% van de bevolking zijn de geselecteerde grenswaarden voor de verdere analyse. De overige grenswaarden in de tabel (voor 11% en 89%) zijn alleen voor de berekende FED-waarden bekend en zijn ter informatie weergegeven.

Voor het bepalen van de maximale vluchttijd is uitgegaan van de situaties in alle ruimten op de vluchtroute van betreffende ruimte tot buiten. Bij de vluchtroute vanuit de ouderslaapkamer wordt dus de situatie op de overloop en in de hal meegewogen. Wanneer de omgevingscondities in de hal als eerste verslechteren, en de grenswaarde voor ontvluchting wordt daar als eerste bereikt, dan geldt het moment waarop in de hal de grenswaarde wordt bereikt voor de maximale vluchttijd. Verder is voor de analyse uitgegaan van de tijden waarop de grenswaarde voor 50% van de bevolking is overschreden. Voor een kleiner deel van de bevolking wordt de grenswaarde al eerder bereikt. In tabel 44 zijn daarom ook de momenten weergegeven waarop 11% van de bevolking ( $FED=0,3$ ) en 89% van de bevolking ( $FED=3$ ) niet meer kan vluchten. Er is gekeken naar de FED-waarden voor het effect van hitte en van toxische gassen op mensen. Daarbij is voor de berekening van  $FED_{hitte}$  uitgegaan van een gemeten convectiewaarde (temperatuur) op 1,8 meter hoogte en stralingswaarde op 0,5m hoogte<sup>94</sup>. Bij de  $FED_{tox}$  is uitgegaan van een gemeten CO-concentratie op 0,5m hoogte en een berekende waarde van 1% ppm HCN per ppm CO dat op dat moment is vrijgekomen. In de keuken is uitsluitend de temperatuur op 1,8 meter hoogte gemeten en kunnen de FED-waarden niet worden bepaald.

De tijden waarop de grenswaarden zijn bereikt, zijn berekend vanaf het moment dat de brand is ontstaan.

<sup>93</sup> Een deel van de tekst is ook opgenomen in paragraaf 5.3.2. De onderdelen zijn herhaald voor een betere leesbaarheid van de bijlage.

<sup>94</sup> Op 1,8m hoogte is de straling niet gemeten.

Tabel 44a: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting en redding

Test-ID	Ruimte	Moment grens ontvluchting bereikt voor 11%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 89%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens overleven bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt
1	Ouderslaapkamer (*)	>		<b>04:04</b>	<b>FEDhitte</b>	>		<b>04:07</b>	<b>T</b>
1	Overloop	>		<b>37:10</b>	<b>CO</b>	39:00	FEDtox	-	
1	Babykamer	>		<b>37:10</b>	<b>CO</b>	39:00	FEDtox	-	
1	Hal	-		<b>max</b>	-	-		-	
1	Woonkamer	-		<b>max</b>	-	-		-	
1	Keuken	-		<b>max</b>	-	-		-	
2	Keuken (*)	N/A		<b>05:30</b>	<b>T**</b>	** 95		** 71	
2	Woonkamer	13:36	FEDhitte	<b>16:12</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	18:12	FEDtox	22:24	CO
2	Hal	25:57	FEDtox	<b>25:58</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:46	CO
2	Overloop	25:57	FEDtox	<b>25:58</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:33	CO
2	Ouderslaapkamer	>		<b>25:39</b>	<b>CO</b>	46:06	FEDtox	47:21	CO
2	Babykamer	>		<b>25:58</b>	<b>CO</b>	43:21	FEDtox	47:29	CO
3	Woonkamer (*)	03:19	FEDhitte	<b>04:26</b>	<b>FEDhitte</b>	04:50	FEDhitte	14:45	NO
3	Keuken	03:19	FEDhitte	<b>04:26</b>	<b>FEDhitte</b>	≤04:50	FEDhitte	N/A	
3	Hal	>		<b>06:09</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:09	NO
3	Overloop	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:00	NO
3	Ouderslaapkamer	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	14:54	NO
3	Babykamer	>		<b>05:54</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	08:45	FEDhitte	39:48	CO

(\*) = Brandruimte; N/A=niet aanwezig/niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt; >=zie volgende grenswaarde; T=temperatuur; q = straling; O<sub>2</sub>=zuurstof; CO=AEGL-CO; NO=AEGL-NO; \*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald

<sup>95</sup> In de keuken is uitsluitend temperatuur gemeten. Daarom zijn de FED-waarden niet te berekenen. Wel is aannemelijk dat het bereiken van de grenswaarden voor ontvluchting voor 89% van de bevolking kleiner is dan 18:12 en voor overleven kleiner dan 22:24 (beide waarden van de woonkamer).

Tabel 44b: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting en redding

Test-ID	Ruimte	Moment grens ontvluchting bereikt voor 11%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens ontvluchting bereikt voor 50%		Moment grens ontvluchting bereikt voor 89%	Brandeffect dat grens bereikt	Moment grens overleven bereikt voor 50%	Brandeffect dat grens bereikt
4	Woonkamer (*)	03:50	FEDhitte	<b>04:36</b>	<b>FEDhitte</b>	05:08	FEDhitte	13:48	NO
4	Keuken	03:50	FEDhitte	<b>04:36</b>	<b>FEDhitte</b>	≤05:08	FEDhitte	N/A	
4	Hal	>		<b>23:18</b>	<b>NO</b>	39:15	FEDtox	45:36	CO
4	Overloop	>		<b>15:57</b>	<b>NO</b>	31:00	FEDtox	33:51	CO
4	Ouderslaapkamer	>		<b>15:15</b>	<b>NO</b>	>		16:55	NO
4	Babykamer	>		<b>15:57</b>	<b>NO</b>	31:00	FEDtox	-	
5	Woonkamer (*)	>		<b>06:20</b>	<b>FEDhitte</b>	07:29	FEDhitte	-	
5	Keuken	>		<b>06:20</b>	<b>FEDhitte</b>	≤07:29	FEDhitte	N/A	
5	Hal	23:19	FEDhitte	<b>max</b>		-		-	
5	Overloop	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
5	Ouderslaapkamer	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
5	Babykamer	10:02	FEDhitte	<b>14:17</b>	<b>FEDhitte</b>	30:27	FEDhitte	-	
6	Ouderslaapkamer (*)	02:34	FEDhitte	<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	>		02:51	q
6	Overloop	>		<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	>		03:09	O <sub>2</sub>
6	Babykamer	>		<b>02:42</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	03:21	FEDhitte	03:36	O <sub>2</sub>
6	Hal	-		<b>max</b>		-		-	
6	Woonkamer	-		<b>max</b>		-		-	
6	Keuken	-		<b>max</b>		-		-	

(\*) = Brandruimte; N/A=niet aanwezig/niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt; >=zie volgende grenswaarde; T=temperatuur; q = straling; O<sub>2</sub>=zuurstof; CO=AEGL-CO; NO=AEGL-NO; \*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald

In test 1 is in de brandruimte (ouderslaapkamer) de hitte bepalend voor de vluchtmogelijkheden voor 50% van de bevolking. De grenswaarde wordt na 4 minuten bereikt. Enkele seconden daarna is ook de grens voor overleefbaarheid bereikt. Voor de ontvluchting via de overloop is de CO-concentratie (AEGL-2) bepalend. Na ruim 37 minuten ondervindt 50% van de bevolking hierdoor hinder bij het vluchten en na 39 minuten kan bijna de hele bevolking niet meer vluchten. De ontvluchting via de hal blijft gedurende de gehele test mogelijk.

In test 2 wordt in de brandruimte (keuken) de grenswaarde voor temperatuur na ruim 5,5 minuten bereikt voor 50% van de bevolking. In de keuken zijn verder geen andere metingen gedaan. In de woonkamer is het effect van hitte na 13,5 minuten voor 11% van de bevolking zodanig dat zij niet meer kunnen vluchten. Na bijna 16,5 minuten kan 50% van de bevolking niet vluchten vanwege een laag zuurstofgehalte en na ruim 18 minuten is voor bijna de hele bevolking vluchten niet meer mogelijk vanwege het effect van verstikkende gassen (FEDtox). Na bijna 22,5 minuten zullen personen in de woonkamer de brand niet overleven vanwege een langdurige blootstelling aan een hoge dosis CO (AEGL-3). De ontvluchting via de hal is vanaf bijna 26 minuten niet meer mogelijk voor 50% van de bevolking vanwege een langdurige blootstelling aan een hoge dosis CO. Vanaf ruim 46 minuten kan de hele bevolking niet meer vluchten vanwege het effect van verstikkende gassen. Ongeveer 1,5 minuten later is ook de grens voor overleven bereikt. Een paar seconden eerder is de grens voor overleven ook op de verdieping al bereikt.

In test 3 ondervindt 11% van de bevolking vanwege hitte na bijna 3,5 minuten hinder bij het vluchten in de brandruimte (woonkamer). De hitte speelt na bijna 4,5 minuten bij 50% van de bevolking parten bij de ontvluchting. Bijna de gehele bevolking kan na bijna 5 minuten niet meer vluchten vanwege hitte en ongeveer 10 minuten later is er sprake van kans op ernstige gezondheidsschade vanwege een langdurige blootstelling aan een hoge dosis NO (AEGL-3). In de hal wordt na ruim 6 minuten de ontvluchting bedreigd door een laag zuurstofpercentage. Daardoor komt op dat moment ook de ontvluchting vanaf de verdieping in het gedrang. Ruim 2,5 minuten later kan 89% van de bevolking niet meer vluchten vanwege hitte. Na 14 à 15 minuten is in de hal en op de verdieping sprake van kans op ernstige gezondheidsschade vanwege een langdurige blootstelling aan een hoge dosis NO (AEGL-3). Aanwezigen in de woningen moeten dus in ieder geval binnen 15 minuten uit de woning gevlucht of gered zijn. Alleen in de babykamer kan men nog tot bijna 40 minuten na het ontstaan van de brand wachten op redding.

Net als in de andere testen is hitte ook in test 4 bepalend voor de verslechtering van de vluchtmogelijkheid in de brandruimte (woonkamer). 11% van de bevolking krijgt daar na bijna 4 minuten problemen, 50% van de bevolking na ruim 4,5 minuten en 89% van de bevolking na ruim 5 minuten. Na bijna 14 minuten is er kans op ernstige gezondheidsschade vanwege een langdurige blootstelling aan een hoge dosis NO. In de hal ondervindt 50% van de bevolking na bijna 23,5 minuten problemen bij het vluchten vanwege NO en op de overloop is dat al na bijna 16 minuten het geval. In de ouderslaapkamer heeft 50% van de bevolking al 42 seconden eerder last van NO bij het vluchten en is de situatie na bijna 17 minuten zodanig dat mensen in de ouderslaapkamer ernstige gezondheidsschade oplopen door NO. Via de overloop kan nog tot bijna 34 minuten gevlucht worden door 11% van de bevolking<sup>96</sup>, en voor 89% van de bevolking al niet meer vanaf 31 minuten. Via de hal kan tot ruim 45,5 minuten gevlucht worden door 2% van de bevolking en dat is vanaf ruim 39 minuten vluchten niet meer mogelijk voor 89% van de bevolking.

In test 5 kan 50% van de bevolking na bijna 6,5 minuten niet meer vluchten vanuit de brandruimte (woonkamer). Ook hier is dit vanwege een hitte. Ongeveer 1,5 minuten later kan 89% van de bevolking niet meer vluchten. De omgevingscondities voor ontvluchting blijven in de

---

<sup>96</sup> 89% is al bedreigd door de rook.

hal tot 23 minuten goed voor 11% van de bevolking. Na 10 minuten kan 11% van de bevolking niet meer via de overloop vluchten vanwege hitte. Na bijna 14,5 minuten is ontvluchting voor 50% van de bevolking niet mogelijk en na bijna 30,5 minuten geldt dit voor 89% van de bevolking. In gehele woning kunnen door hitte aangedane slachtoffers tot het einde van de test worden gered, mits de personen gedurende de brand in de kamer blijven en via de buitenzijde worden gered.

In test 6 is de temperatuur in de brandruimte (woonkamer) na ruim 2,5 minuten zodanig hoog dat 11% van de bevolking niet meer kan vluchten. Enkele seconden later krijgt 50% van de bevolking last van een te laag zuurstofgehalte en kan niet meer vanaf de verdieping vluchten. Na bijna 3 minuten na de start van de brand kunnen personen in de brandruimte ook niet meer gered worden. Enkele seconden later is de grens voor overleven ook op de overloop bereikt. In de babykamer ondervindt bijna de gehele bevolking na bijna 3,5 minuten als gevolg van hitte hinder bij het vluchten en een paar seconden later is de grens voor overleven bereikt vanwege een te laag zuurstofgehalte. Op de begane grond worden de grenswaarden tot het einde van de test niet bereikt en kan men ongehinderd vluchten of gered worden.

In tabel 45 zijn de tijden weergegeven waarop alle geselecteerde grenswaarden voor ontvluchting zijn bereikt. De tijden zijn berekend vanaf het moment dat de brand is ontstaan. De tijd en het brandeffect dat als eerste optreedt, is uiteindelijk opgenomen in de eerder besproken tabel 44.

### *Conclusie*

In test 6 wordt in de brandruimte (ouderslaapkamer) het snelst de grenswaarde voor ontvluchting bereikt, te weten na ruim 2,5 minuten na het ontstaan van de brand. Op dat moment is het zuurstofgehalte in de ruimte lager dan 13%. In test 5 (brand in TV in woonkamer) blijven de omgevingscondities voor het vluchten in de brandruimte het langst goed, namelijk iets meer dan 6,5 minuten. Net als in de andere brandruimten, met uitzondering van de ouderslaapkamer in test 6, is de temperatuur bepalend voor het verslechteren van de vluchtmogelijkheid.

In de testen waarin de brand op de verdieping (ouderslaapkamer) is ontstaan en in de test met de TV-brand in de woonkamer, blijft de vluchtmogelijkheid op de begane grond goed tot het einde van de test. Op de verdieping moet binnen 37 minuten gevlucht zijn in de situatie waarin de slaapkamerdeuren dicht waren (test 1). In de situatie waarin de slaapkamerdeuren open waren (test 6), is op de verdieping maar net iets meer dan 2,5 minuten tijd voor ontvluchting. In de overige testen waarin de brand op de begane grond ontstaat, heeft men op de verdieping in het gunstigste geval 26 minuten tijd om te vluchten (test 2, keukenbrand) en in het slechtste geval 6 minuten (test 3, brand in bank in woonkamer, woonkamerdeur open). Het is opvallend dat in de brandruimte bij de twee testen met brand in de ouderslaapkamer (test 1 en 6) al binnen iets meer dan 4 minuten de grenswaarde voor overleven wordt bereikt, beiden vanwege hitte. Bij de twee testen met brand in de bank in de woonkamer (test 3 en 4) lopen aanwezigen in de brandruimte al binnen 15 minuten ernstige gezondheidsschade op vanwege een te hoge concentratie stikstofdioxide (NO). In de andere twee testen (brand in apparatuur, namelijk friteuse in keuken en TV in woonkamer) moet binnen ongeveer 30 minuten gevlucht worden om de brand te kunnen overleven (keukenbrand), of blijven de omgevingscondities tot het einde van de test<sup>97</sup> goed (TV-brand).

Wanneer iemand de brand niet opmerkt of fysiek niet in staat is om te vluchten, bestaat alleen in de testen waarbij de brand op de verdieping ontstaat (test 1 en 6) en de test met de TV-brand (test 5) in alle vertrekken op de begane grond een goede kans op het overleven van de brand. In test 1 en 5 kan men ook op de verdieping – met uitzondering van de brand-

---

<sup>97</sup> Na 28 minuten is de vuurlast in de woonkamer gewijzigd vanwege een gecombineerd experiment, waardoor ook de bank bij de brandhaard wordt betrokken. Binnen een minuut daarna wordt de grens voor overleven in de gehele woning bereikt.

ruimte (test 1) – de brand overleven. In de andere vier testen, die op de begane grond ontstaan, is de grenswaarde voor overleven, behalve in de babykamer in test 4, binnen bijna 48 minuten (test 2, keukenbrand) tot 15 minuten (test 3, brand in bank in woonkamer) bereikt.

Tabel 45a: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting

Test-ID	Ruimte	Temperatuur $\geq 120$ °C; $h=180$	Straling $\geq 2,5$ kW/m <sup>2</sup> ; $h=50$	FEDhitte $\geq 1$	FEDtox(1%HCN) $\geq 1$	FEDco $\geq 1$	Zuurstofpercentage $\leq 13\%$	10 min AEGL-2(NO <sub>x</sub> ) $\geq 20$ ppm	10 min AEGL-2(CO) $\geq 420$ ppm	Maximale vluchtijd uit ruimte (via overloop / hal)	Brandefect dat grens bereikt
1	Ouderslaapkamer (*)	03:29	03:53	04:04	10:12	-	-	13:24	13:54	04:04	hitte
1	Overloop	-	-	-	-	-	-	-	37:10	37:10	CO
1	Babykamer	-	-	-	-	-	-	-	-	37:10	CO
1	Hal	-	-	-	-	-	-	-	-	max	-
1	Woonkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	max	-
1	Keuken	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	max	-
2	Keuken (*)	05:30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	05:30	T**
2	Woonkamer	15:37	29:38	16:26	16:39	20:15	16:12	21:39	17:34	16:12	O <sub>2</sub>
2	Hal	-	-	-	38:21	-	-	53:42	25:58	25:58	CO
2	Overloop	-	-	-	40:39	-	-	54:27	26:12	25:58	CO
2	Ouderslaapkamer	-	-	-	42:48	-	-	53:39	25:39	25:39	CO
2	Babykamer	-	-	-	38:15	47:30	-	-	26:18	25:58	CO
3	Woonkamer (*)	02:43	05:06	04:26	13:36	20:21	57:30	14:24	15:08	04:26	hitte
3	Keuken	04:45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	04:26	hitte
3	Hal	-	05:16	06:31	11:21	16:03	06:09	13:18	14:57	06:09	O <sub>2</sub>
3	Overloop	05:11	05:16	06:21	11:39	16:45	05:54	13:33	15:09	05:54	O <sub>2</sub>
3	Ouderslaapkamer	05:43	52:56	13:04	11:54	16:39	06:33	14:24	15:36	05:54	O <sub>2</sub>
3	Babykamer	-	-	-	26:30	26:30	-	19:33	17:15	05:54	O <sub>2</sub>

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt;

\*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald



Tabel 45b: Grenswaarden voor de kans op ontvluchting

Test-ID	Ruimte	Temperatuur $\geq 120$ °C; $h=180$	Straling $\geq 2,5$ kW/m <sup>2</sup> ; $h=50$	FEDhitte $\geq 1$	FEDtox(1%HCN) $\geq 1$	FEDco $\geq 1$	Zuurstofpercentage $\leq 13\%$	10 min AEGL-2(NO <sub>x</sub> ) $\geq 20$ ppm	10 min AEGL-2(CO) $\geq 420$ ppm	Maximale vluchttijd uit ruimte (via overloop / hal)	Brandeffect dat grens bereikt
4	Woonkamer (*)	03:05	05:00	04:36	13:39	17:27	06:06	13:45	15:18	04:36	hitte
4	Keuken	04:36	N/A	N/A	N/A	N/A	-	N/A	N/A	04:36	hitte
4	Hal	-	-	-	35:48	42:57	-	23:18	28:21	23:18	NO
4	Overloop	-	-	-	27:45	35:15	-	15:57	23:39	15:57	NO
4	Ouderslaapkamer	-	-	-	27:00	35:33	-	15:15	23:15	15:15	NO
4	Babykamer	-	-	-	-	-	-	-	-	15:57	NO
5	Woonkamer (*)	04:32	07:44	06:20	-	-	-	-	-	06:20	hitte
5	Keuken	07:00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	06:20	hitte
5	Hal	-	13:33	-	-	-	-	-	-	max	-
5	Overloop	-	14:15	14:17	-	-	-	-	-	14:17	hitte
5	Ouderslaapkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	14:17	hitte
5	Babykamer	-	-	-	-	-	-	-	-	14:17	hitte
6	Ouderslaapkamer (*)	02:22	02:30	02:43	04:12	06:36	02:42	12:15	12:33	02:42	O <sub>2</sub>
6	Overloop	02:32	03:14	03:08	04:39	05:06	02:42	12:15	12:42	02:42	O <sub>2</sub>
6	Babykamer	02:47	03:25	03:28	04:21	05:06	03:00	12:24	12:42	02:42	O <sub>2</sub>
6	Hal	-	-	-	-	-	-	-	-	max	-
6	Woonkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	max	-
6	Keuken	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	max	-

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten; - = Grenswaarde niet bereikt;

\*\* = straling is hier niet gemeten, waardoor FEDhitte niet kan worden bepaald

In tabel 46 zijn de tijden weergegeven waarop de verschillende FED-waarden de grens bereikt voor 11% van de bevolking (FED=0,3), voor 50% van de bevolking (FED=1) en voor 89% van de bevolking (FED=3).

Tabel 46: FED-waarden

Test-ID	Ruimte	FEDhitte			FEDtox(1%HCN)			FEDco		
		≥ 0,3	≥ 1	≥ 3	≥ 0,3	≥ 1	≥ 3	≥ 0,3	≥ 1	≥ 3
1	Ouderslaapkamer (*)	03:50	04:04	04:21	07:51	10:12	12:18	08:09	-	-
1	Overloop	-	-	-	39:00	-	-	41:33	-	-
1	Babykamer	-	-	-	58:03	-	-	-	-	-
2	Woonkamer	13:36	16:26	26:50	14:00	16:39	18:12	14:24	20:15	44:48
2	Hal	-	-	-	25:57	38:21	46:06	27:24	-	-
2	Overloop	-	-	-	26:27	40:39	47:12	28:03	-	-
2	Ouderslaapkamer	-	-	-	27:12	42:48	-	29:00	-	-
2	Babykamer	-	-	-	27:06	38:15	43:21	28:39	47:30	-
3	Woonkamer (*)	03:19	04:26	04:50	09:36	13:36	16:30	10:06	20:21	50:45
3	Hal	06:09	06:31	08:45	08:24	11:21	13:24	08:48	16:03	43:15
3	Overloop	05:31	06:21	09:20	08:36	11:39	13:51	09:00	16:45	44:42
3	Ouderslaapkamer	06:27	13:04	50:31	08:54	11:54	13:57	09:18	16:39	44:00
3	Babykamer	-	-	-	17:54	26:30	31:24	19:09	36:48	-
4	Woonkamer (*)	03:50	04:36	05:08	10:21	13:39	15:30	10:48	17:27	30:48
4	Hal	-	-	-	27:18	35:48	39:15	28:36	42:57	-
4	Overloop	-	-	-	22:00	27:45	31:00	22:54	35:15	?
4	Ouderslaapkamer	-	-	-	21:18	27:00	30:12	22:12	35:33	?
5	Woonkamer (*)	05:02	06:20	07:29	-	-	-	-	-	-
5	Hal	23:19	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Overloop	10:02	14:17	-	-	-	-	-	-	-
5	Ouderslaapkamer	12:08	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Ouderslaapkamer (*)	02:34	02:43	02:53	03:45	04:12	04:39	03:45	06:36	27:09
6	Overloop	02:53	03:08	03:21	03:45	04:39	05:33	03:45	05:06	23:33
6	Babykamer	03:11	03:28	03:52	03:54	04:21	04:39	03:54	05:06	18:36

(\*) = Brandruimte; - = Grenswaarde niet bereikt; ? = Onbekend omdat meter is uitgevallen

In tabel 47 zijn de tijden weergegeven waarop de grenswaarde voor overleven van brand is bereikt voor alle geselecteerde grenswaarden. De tijd en het brandeffect dat als eerste optreedt, is uiteindelijk opgenomen in de eerder besproken tabel 47.

Tabel 47a: Grenswaarden voor de kans op overleven van brand

Test-ID	Ruimte	Temperatuur > 120°C; h=50	Straling ≥ 6 kW/m <sup>2</sup>	Zuurstofpercentage ≤ 6%	10 min AEGL-3(NO <sub>x</sub> ) ≥ 34 ppm	10 min AEGL-3(CO) ≥ 1700 ppm	30 min AEGL-3(CO) ≥ 600 ppm	CO ≥ 8000 ppm	3 minuten CO ≥ 12800 ppm	10 minuten CO ≥ 6400 ppm	Grenswaarde overleefbaarheid bereikt	Brandeffect dat grens bereikt
1	Ouderslaapkamer (*)	04:07	-	-	13:33	15:45	-	-	-	-	04:07	T
1	Overloop	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Babykamer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Hal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Woonkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Woonkamer	N/A	43:40	-	22:48	22:24	-	43:30	-	< t	22:24	CO
2	Hal	N/A	-	-	-	-	47:46	-	-	-	47:46	CO
2	Overloop	42:16	-	-	< t	?	47:33	-	-	-	47:33	CO
2	Ouderslaapkamer	-	-	-	-	?	47:21	-	-	-	47:21	CO
2	Babykamer	-	-	-	-	?	47:29	-	-	-	47:29	CO
3	Woonkamer (*)	-	-	-	14:45	16:15	-	-	-	-	14:45	NO
3	Hal	-	-	-	14:09	15:39	-	-	-	-	14:09	NO
3	Overloop	-	-	-	14:00	15:48	-	-	-	-	14:00	NO
3	Ouderslaapkamer	N/A	-	-	14:54	16:06	-	-	-	-	14:54	NO
3	Babykamer	-	-	-	< t	47:42	39:48	-	-	-	39:48	CO

(\*) = Brandruimte; - = Grenswaarde niet bereikt; ? = Onbekend omdat meter is uitgevallen;  
< t = Waarde bereikt voor kortere tijdsduur

Tabel 47b: Grenswaarden voor de kans op overleven van brand

Test-ID	Ruimte	Temperatuur > 120°C; h=50	Straling ≥ 6 kW/m <sup>2</sup>	Zuurstofpercentage ≤ 6%	10 min AEGL-3(NO <sub>x</sub> ) ≥ 34 ppm	10 min AEGL-3(CO) ≥ 1700 ppm	30 min AEGL-3(CO) ≥ 600 ppm	CO ≥ 8000 ppm	3 minuten CO ≥ 12800 ppm	10 minuten CO ≥ 6400 ppm	Grenswaarde overleefbaarheid bereikt	Brandeffect dat grens bereikt
4	Woonkamer (*)	-	60:15	-	13:48	17:33	-	60:12	< t	< t	13:48	NO
4	Hal	-	-	-	45:48	45:36	50:30	-	-	-	45:36	CO
4	Overloop	-	-	-	34:36	33:51	-	-	-	-	33:51	CO
4	Ouderslaapkamer	59:35	-	-	16:55	< t	35:03	-	-	-	16:55	NO
4	Babykamer	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Woonkamer (*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Hal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Overloop	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Ouderslaapkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Babykamer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Ouderslaapkamer (*)	N/A	02:51	-	12:24	< t	< t	03:09	< t	< t	02:51	q
6	Overloop	30:11	-	03:09	12:24	13:00	-	03:18	< t	< t	03:09	O <sub>2</sub>
6	Babykamer	30:39	-	03:36	12:24	13:00	-	03:18	< t	< t	03:36	O <sub>2</sub>
6	Hal	41:29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Woonkamer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(\*) = Brandruimte; - = Grenswaarde niet bereikt; ? = Onbekend omdat meter is uitgevallen;  
 < t = Waarde bereikt voor kortere tijdsduur

## Alarmtijden van de rookmelders

In iedere ruimte hing(en) één of meerdere rookmelders. In tabel 48 zijn de alarmtijden weergegeven van de optische rookmelders in de brandruimten en de verkeersruimten. Voor de ruimten waarin meerdere optische rookmelder ruimte aanwezig waren, zijn de alarmtijden en het verschil in alarmtijden ook weergegeven.

Tabel 48: Alarmtijden optische rookmelders (mm:ss, na ontstaan brand)

Test-ID	Locatie rookmelder	Eerste alarm	Tweede alarm	Vershil
1	Ouderslaapkamer (*)	00:35	01:19	00:44
1	Overloop	04:02	04:37	00:35
1	Babykamer	18:22	18:27	00:05
1	Hal	14:53	N/A	N/A
2	Keuken (*)	00:10	N/A	N/A
2	Hal	07:15	N/A	N/A
2	Overloop	13:24	13:44	00:20
2	Ouderslaapkamer	06:56	09:19	03:23
2	Babykamer	07:56	08:50	00:54
3	Woonkamer (*)	01:20	N/A	N/A
3	Hal	02:01	N/A	N/A
3	Overloop	NIET	N/A	N/A
4	Woonkamer (*)	01:35	N/A	N/A
4	Hal	02:33	N/A	N/A
4	Overloop	06:53	N/A	N/A
5	Woonkamer (*)	02:21	N/A	N/A
5	Hal	03:20	N/A	N/A
5	Overloop	09:10	N/A	N/A
6	Ouderslaapkamer (*)	00:43	N/A	N/A
6	Overloop	01:12	N/A	N/A
6	Hal	08:03	N/A	N/A

(\*) = Brandruimte; N/A = Niet aanwezig / niet gemeten; NIET = niet afgegaan

## Maatregel 1a: Ongekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten

Tijdens de brandtesten zijn in iedere ruimten één of meerdere rookmelders opgehangen en is gemeten wanneer de rookmelders in alarm zijn gegaan. De woning waarin de brandtesten zijn uitgevoerd is omstreeks 1931 gebouwd. In woningen die gebouwd zijn voor 2003, zijn volgens de bouwregelgeving (Bouwbesluit) geen rookmelders verplicht. Wanneer bewoners (of verhuurders) rookmelders plaatsen is dat op vrijwillige basis en volgens adviezen van rookmelderproducenten, verkopers en brandweer. De adviezen komen globaal neer op een rookmelder in de verkeersruimten op iedere woonverdieping. Uit de inventarisatie naar de aanwezigheid van rookmelders (zie paragraaf 4.1) blijkt dat in de woningen met rookmelders vooral rookmelders met batterijen hangen. Dit zijn doorgaans rookmelders die onderling niet gekoppeld zijn. Dit betekent dat wanneer de ene rookmelder door brandverschijnselen wordt geactiveerd, de andere rookmelders in de woning (nog) niet afgaan. Daardoor is het mogelijk dat aanwezigen in een andere ruimte dan de ruimte waar de rookmelder is afgegaan, het alarmsignaal niet horen.

In de vergelijking tussen de situatie zonder rookmelders en de situatie met ongekoppelde optische rookmelders in de verkeersruimte is er van uitgegaan dat in alle verblijfsruimten slapende personen aanwezig zijn. Uitgaande van de resultaten uit de geluidsmetingen<sup>98</sup> (zie paragraaf 5.2) is de aanname verder dat de aanwezigen in de woning alleen de rookmelder horen die in de verkeersruimte is geplaatst op de verdieping waarop zij verblijven. Oftewel, de aanwezigen in de woonkamer horen alleen de rookmelder in de hal en de aanwezigen in de slaapkamers horen alleen de rookmelder op de overloop. De aanwezigen in de slaapkamers vluchten, wanneer de rookmelder is afgegaan, via de overloop en hal naar buiten. Dit betekent dat voor de beschikbare vluchttijd vanuit de slaapkamers ook de situatie op de overloop en in de hal wordt meegenomen. Voor de ontvluchting vanuit de woonkamer wordt ook de situatie in de hal meegenomen.

In test 1, waar brand is ontstaan in een bed in de ouderslaapkamer, heeft een rookmelder op de overloop weinig invloed op de kans op ontvluchting. De grenswaarde voor ontvluchting is in de brandruimte ongeveer na 4 minuten bereikt. Omdat de rookmelder op de overloop pas 2 seconden daarvoor is afgegaan, wordt een slapend persoon in de brandruimte niet op tijd gealarmeerd. Mogelijk komt dit doordat de deur van de brandruimte dicht was, en de rook zich niet snel genoeg naar de overloop kon verspreiden om de rookmelder te activeren. De grenswaarde voor overleefbaarheid wordt ook snel bereikt. Met een ongekoppelde rookmelder op de overloop is na detectie nog 5 seconden over voor een reddingspoging. Dat is onvoldoende om een redding door de brandweer mogelijk te maken. Met een ongekoppelde rookmelder op de overloop zal een slapend en/of niet zelfredzaam persoon in de brandruimte de brand niet overleven. Voor de ontvluchting en redding van personen uit de overige ruimten heeft een ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte wel een positief effect. De beschikbare vluchttijd vanuit de babykamer en de overloop is, nadat de rookmelder op de overloop is afgegaan, ruim 33 minuten. In de hal gaat de rookmelder pas na 15 minuten af, maar op de begane grond kan tot het einde van de test gevlucht worden. Personen daar aanwezig en die niet zelfstandig kunnen vluchten, kunnen dan nog gered worden indien de brandweer snel is gealarmeerd.

<sup>98</sup> Daarnaast blijkt uit de geluidstesten dat een (niet gekoppelde) rookmelder op de overloop al met 1 deur dicht het geëiste volume van 65 dB(A) niet meer bereikt wordt in de woonkamer en keuken. De rookmelder in de hal is vanwege de houten vloerconstructie nog net met een voldoende volume te horen in de slaapkamers (metingen zijn 75 en 76 dB(A), grens ligt op 75 dB(A)). In beide gevallen is getest met 1 deur dicht (de deur van de ruimte waarin gemeten is). De hoorbaarheid zal nog slechter zijn wanneer alle deuren dicht zijn en wanneer sprake is van een betonnen vloerconstructie.



In test 2<sup>99</sup>, waarbij in de keuken brand ontstaat in een friteuse, gaat de ongekoppelde rookmelder in de hal te laat af om op tijd uit de keuken te kunnen vluchten. Ook hier is de deur naar de hal dicht. Omdat in de keuken maar beperkt metingen zijn uitgevoerd is niet bekend hoelang de situatie overleefbaar blijft. Voor de ontvluchting vanuit de woonkamer heeft de rookmelder wel effect, want hierdoor is 9 minuten beschikbaar voor ontvluchting en is ruim 15 minuten beschikbaar voor redding. Dit is gerekend vanaf het moment dat de rookmelder afgaat. De brand moet voor redding eerst nog wel gemeld worden en de brandweer moet naar de woning toe rijden. Uitgaande van een meldtijd van 2-5 minuten en een opkomsttijd van 6-8 minuten, zal in het ongunstigste geval nog 2 minuten over zijn voor redding. De beschikbare redtijd zal in de keuken korter zijn dan in de woonkamer, waardoor de kans op overleven op basis van de uitgangspunten voor melden en aanrijden maar zeer beperkt is. De beschikbare redtijd voor personen in de hal, bijvoorbeeld wanneer iemand tijdens het vluchten is gevallen, is 40,5 minuten. De rookmelder op de overloop gaat pas na ongeveer 13,5 minuten af, dat is ongeveer 9 minuten later dan de rookmelder in de hal. De aanwezigen in de ouderslaapkamer hebben daarna nog 12 minuten tijd om zelfstandig te vluchten. Vanuit de babykamer en de overloop kan na het afgaan van de rookmelder nog 12,5 minuten gevlucht worden. De beschikbare redtijd voor personen op de verdieping is ongeveer 34 minuten.

In test 3 ontstaat de brand in een bank in de woonkamer. De deur van de woonkamer staat open. Daardoor gaat de rookmelder in de hal vrij snel, namelijk na 2 minuten, in alarm. De personen in de brandruimte hebben daarna nog 2,5 minuten de tijd om te vluchten. Lukt dit niet, dan is na het afgaan van de rookmelder nog ruim 12,5 minuten tijd beschikbaar voor redding. Voor de brandweer is de beschikbare redtijd mogelijk te kort, waardoor de kans dat iemand uit de brandruimte gered kan worden beperkt is. De rookmelder op de overloop gaat niet af, mogelijk doordat de rookmelder defect was. Na 5 minuten is de overloop namelijk volledig gevuld met grijs/zwarte rook. De thermische melder op de overloop gaat na 4 minuten en 45 seconden af en wordt in dit geval gebruikt voor het berekenen van de beschikbare vlucht- en redtijd. Uitgaande van het moment dat de thermische melder in alarm gaat, hebben de aanwezigen op de verdieping ongeveer 1 minuut om te vluchten. Op de overloop is de beschikbare redtijd ruim 9 minuten, in de ouderslaapkamer ongeveer 10 minuten en in de babykamer ongeveer 35 minuten. Omdat de beschikbare redtijd op de overloop eerder verstreken is dan in de slaapkamers, moet de redding (na ruim 9 minuten) van buitenaf plaatsvinden en niet via de hal en overloop.

Net als in test 3 ontstaat de brand in test 4 in een bank in de woonkamer. Maar bij deze brand is de deur van de woonkamer dicht. Desondanks gaat de rookmelder al vrij snel af, namelijk na ruim 2,5 minuten. De aanwezigen in de woonkamer hebben dan nog 2 minuten om zelfstandig te vluchten. Lukt dit niet, maar de brandweer is wel gealarmeerd, dan is ruim 11 minuten na het afgaan van de rookmelder tijd om gered te worden. Vanwege tijd die verloren gaat aan het bellen van 112 en het ter plaatse komen van de brandweer, is de beschikbare redtijd mogelijk te kort om mensen levend uit de brandruimte te halen. De omgevingscondities voor ontvluchting blijven in de hal bijna 21 minuten na het in alarm gaan van de rookmelder goed, maar op de verdieping treden al eerder problemen op. De rookverspreiding vindt namelijk in eerste instantie plaats via de plafond-/vloerconstructie. Ondanks dat de rookmelder op de overloop pas na bijna 7 minuten afgaat, hebben de personen in de ouderslaapkamer nog bijna 8,5 minuten tijd om te vluchten. Lukt dit niet, dan is redding nodig binnen 10 minuten nadat de rookmelder op de overloop is afgegaan. Op de overloop is na het afgaan van de rookmelder nog bijna 27 minuten beschikbaar voor redding en in de babykamer blijven de omgevingscondities tot het einde van de test goed. Omdat de beschikbare

---

<sup>99</sup> In de keuken van de geteste woningen is het gezien de omvang en de lay-out van de keuken onwaarschijnlijk dat er slapende personen aanwezig zullen zijn. Wakende personen zullen de brand bij aanwezigheid in de keuken vermoedelijk zelf opmerken. Uit onderzoek blijkt dat het incidenteel wel voorkomt dat er personen aan de keukentafel of in een stoel in de keuken in slaap vallen, daarom is deze waarde voor de volledigheid opgenomen.

redtijd op de overloop eerder verstreken is dan in de babykamer, moet de redding (na 27 minuten) van buitenaf plaatsvinden en niet via de hal en overloop.

In test 5 ontstaat de brand in een TV in de woonkamer. De deur van de woonkamer staat open. De rookmelder in de hal gaat na bijna 3,5 minuten af. Daarna heeft een persoon in de brandruimte nog 3 minuten tijd om zelf te vluchten en tot het einde van de test (t=28:00) om gered te worden. De rookmelder op de overloop gaat ongeveer 5,5 minuten later af dan de rookmelder in de hal. Daarna hebben aanwezigen op de verdieping nog bijna 5 minuten tijd om te vluchten. In de gehele woning is men tot het einde van de test veilig om gered te kunnen worden.

In test 6 ontstaat de brand in een bed in de ouderslaapkamer. De deur van de slaapkamer staat open. Na ruim 1 minuut gaat de rookmelder op de overloop af, waarna aanwezigen in de brandruimte nog ruim 1,5 minuten tijd hebben om te vluchten en een paar seconden extra om gered te kunnen worden. Deze beschikbare redtijd is (veel) te kort om door de brandweer gered te kunnen worden. In deze test staat ook de deur van de babykamer open, waardoor de situatie in die kamer snel verslechtert. Na het afgaan van de rookmelder is nog maar 2,5 minuten redtijd beschikbaar in de babykamer, terwijl de redtijd op de overloop nog net geen 2 minuten is. De rookmelder in de hal gaat na 8 minuten af, dat is bijna 7 minuten later dan de rookmelder op de overloop. Desondanks kunnen mensen op de begane grond de brand overleven tot het einde van de test.

### *Conclusie*

In de testen die op de verdieping zijn ontstaan (test 1 en 6), is sprake van een snelle brandontwikkeling, waardoor na het afgaan van de rookmelder in de verkeersruimte in de brandruimte geen tot maar ruim 1,5 minuten beschikbaar is om te vluchten. Daarna is ook al snel de grenswaarde voor overleefbaarheid bereikt. De kans dat mensen deze branden overleven, wanneer zij zich slapend in de brandruimte bevinden, is (zeer) klein. In test 6, waarin alle binnendeuren op de verdieping open stonden, is de kans op ontvluchting en overleven ook in de andere ruimten op de verdieping maar (zeer) klein. In test 1 is in de andere slaapkamer geruime tijd beschikbaar voor ontvluchting. Op de begane grond worden in beide testen de grenswaarden voor ontvluchting en redding niet bereikt.

Bij de brand die in de keuken ontstaat, moeten de aanwezigen op de bovenliggende verdieping binnen 12,5 minuten vluchten of binnen ongeveer 34 minuten gered worden. Voor de mensen in de brandruimte zelf gaat de rookmelder te laat af en in de aangrenzende woonkamer is na het afgaan van de rookmelder nog 9 minuten beschikbaar om te vluchten. Lukt dit niet, dan moeten mensen in de woonkamer binnen ruim een kwartier na het afgaan van de rookmelder gered worden.

Bij de overige branden die op de begane grond ontstaan (testen 3, 4 en 5) moeten mensen in de brandruimten binnen 2 tot 3 minuten nadat de rookmelder afgaat gevlucht zijn. Op de bovenliggende verdieping is maximaal 8,5 minuten (test 4) tot 1,5 minuten (test 3) beschikbaar voor ontvluchting. In alle drie testen wordt de grenswaarde voor overleefbaarheid in de babykamers en in test 5 in alle ruimten niet bereikt. In de overige ruimten is na het afgaan van de rookmelder ten minste 9 minuten (test 3) tot maximale tijd (test 5) beschikbaar voor redding.

Er kan geconcludeerd worden dat een ongekoppelde optische rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte nauwelijks effectief is voor mensen in de brandruimte: in 2 testen gaat de rookmelder te laat af om nog te kunnen vluchten. In de testen met brand op de verdieping worden de grenswaarden voor ontvluchting en redding op de onderliggende verdieping niet bereikt. In de testen met brand op de begane grond is vanaf de verdieping ten minste 5 minuten tijd beschikbaar voor ontvluchting.

## Maatregel 1b: Thermische melders in verkeersruimte

In bijna alle ruimten is ook een thermische melder geplaatst, met uitzondering van in de babykamer in test 4, op de verdieping in test 2 en op de begane grond in test 6. Alleen op de overloop in test 5 (brand in TV in woonkamer) is de thermische melder eerder in alarm gegaan dan de optische rookmelder. De thermische melder gaat daar zelfs 3 minuten eerder af dan de optische. Op de overloop in test 3 ging de optische rookmelder niet af, waarschijnlijk vanwege een defect, maar ging de thermische melder wel af, namelijk na bijna 5 minuten. Op dat moment stond de overloop al vol grijs/zwarte rook. Opvallend is dat in 7 gevallen de thermische melder niet is afgegaan, terwijl de optische rookmelder wel is afgegaan, variërend van 4 tot 18,5 minuten na het ontstaan van de brand. In de gevallen waarin de thermische melder wel is afgegaan, varieert het verschil in alarmtijd met de optische rookmelder tussen ongeveer 1 minuut (brandruimte in test 3, 4, 5 en 6 en keuken in test 3 en 4) en 4 minuten (keuken en woonkamer in test 2), met uitschieters tot 56 minuten (in de hal en op de verdieping in test 4).

Wanneer een ongekoppelde rookmelder in de verkeersruimte wordt vervangen door een thermische, gaat de rookmelder in 4 testen te laat af om aanwezig in de verblijfsruimten de kans te geven om zelf te vluchten: In testen 1 en 6 ontstaat de brand op de verdieping en gaat de thermische melder op de overloop niet of pas af als vluchten niet meer mogelijk is. In testen 2 en 4 ontstaat de brand op de begane grond en gaat de thermische melder in de hal te laat af. In test 4 gaat ook de thermische melder op de overloop te laat af. Alleen in testen 3 en 5 gaan de thermische melders in de verkeersruimten wel op tijd af. Daarna is vanaf de verdiepingen nog 1,5 minuten (test 3) tot 8 minuten (test 5) beschikbaar om te vluchten.

Wanneer de optische rookmelder in de brandruimte wordt vervangen door een thermische melder<sup>100</sup>, gaat de melder ongeveer 1 minuut (test 3, 4, 5 en 6) tot bijna 4 minuten (test 2) later af dan de optische rookmelder. Er is dan nog 1 minuut (test 6) tot bijna 3 minuten (test 5) beschikbaar om zelfstandig te vluchten. Uit de literatuurstudie blijkt dat een optische rookmelder in de keuken vaak leidt tot hinderlijke activering. In test 2 is de thermische melder daadwerkelijk in de keuken geplaatst. De thermische melder is bijna 4 minuten later afgegaan dan de optische, maar daarna is nog 1,5 minuten over om te vluchten. Voor de overige testen geldt dat, als de betreffende brandruimte de keuken zou zijn, er meer dan 1 minuut vluchttijd beschikbaar is.

### Conclusie

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat het zinvol is om een thermische melder alleen op te hangen in ruimten waarin een optische rookmelder een grote kans op hinderlijke activering geeft, zoals in de keuken. In alle overige gevallen, met name in de verkeersruimten, is een thermische melder in woningen zelfs sterk af te raden.

## Maatregel 1c: Deuren sluiten bij niet gekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten

### Effect van sluiten van deur van brandruimte

In het algemeen kan gesteld worden dat in de situaties waarin de deur van de brandruimte dicht is, de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimte langer goed blijven dan wanneer de deur van de brandruimte open staat. Bij een dichte deur varieert de tijdsduur na het ontstaan van de brand tot het bereiken van de grenswaarde voor ontvluchting in de aangrenzende verkeersruimte van ruim 37 minuten (test 1) tot ruim 23,5 minuten (test 4). Met de deur open varieert dit tot het einde van de test (test 5) tot ruim 2,5 minuten (test 6). Voor de omgevingscondities in de brandruimte zelf is er geen groot verschil tussen de testen met de deur dicht of open. De meetwaarden in de brandruimte hebben met de deur open in het

<sup>100</sup> In test 1 is geen thermische melder in de brandruimte getest.

slechtste geval bijna 1,5 minuut eerder een grenswaarde bereikt dan met de deur dicht. Met de deur van de brandruimte open varieert de maximale vluchttijd van ruim 2,5 minuten tot 6,5 minuten na het ontstaan van de brand. Met de deur dicht varieert dit van 4 minuten tot 5,5 minuten.

De alarmtijd van de dichtstbijzijnde optische rookmelder in de verkeersruimte varieert bij een open deur van de brandruimte van ruim 1 minuut tot bijna 3,5 minuten. Bij een dichte deur varieert dit van 2,5 minuten tot ruim 7 minuten. In het slechtste geval gaat de rookmelder bij een dichte deur ongeveer 4 minuten later in alarm dan wanneer de deur van de brandruimte open staat. In de situatie dat de deur van de brandruimte dicht is, is de rookmelder dan ook in 2 gevallen (test 1, brand in ouderslaapkamer; en test 2, keukenbrand) voor aanwezig in de brandruimte te laat afgegaan om te vluchten of zelfs om gered te kunnen worden. In test 4 (brand in bank in woonkamer) is in de brandruimte na het alarm nog 2 minuten tijd om te vluchten. Met de deur van de brandruimte open is na het alarm nog 1,5 minuten (test 6, brand in ouderslaapkamer) tot 3 minuten (test 5, brand in TV in woonkamer) tijd om te vluchten.

Behalve dat bij een gesloten deur het alarm voor aanwezig in de brandruimte te laat af kan gaan, blijkt uit de geluidstesten dat een (niet gekoppelde) rookmelder in de verkeersruimte al met 1 deur dicht niet met een voldoende volume<sup>101</sup> te horen is op de andere verdieping. De hoorbaarheid zal nog slechter zijn wanneer alle deuren dicht zijn en wanneer sprake is van een betonnen vloerconstructie. Dit betekent dat het sluiten van de deur van de brandruimte een aanzienlijk positief effect heeft op de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimten. Het heeft daarentegen ook een aanzienlijk negatief effect op de snelheid van alarmering en de hoorbaarheid van de rookmelder(s).

#### *Effect van sluiten van deur van verblijfsruimte (anders dan brandruimte)*

Voor de analyse van het effect van het sluiten van deuren van verblijfsruimten (anders dan de brandruimte) bij niet gekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten is in de testen 2 tot en met 5 gekeken naar het verschil tussen de situatie in de ouderslaapkamer en de babykamer. In deze testen ontstaat de brand op de begane grond en is de deur van de ouderslaapkamer open en van de babykamer gesloten. In test 2 en test 4 is ook de deur tussen de brandhaard en de hal gesloten. In test 3 en 5 staat de deur tussen de brandhaard en de hal open.

In test 2 is in de babykamer sprake van 2 gesloten deuren en in de ouderslaapkamer van 1 gesloten deur tussen de ruimte en de brandhaard. In deze test vindt de rookverspreiding echter in eerste instantie plaats via de houten plafond-/vloerconstructie en niet via de verkeersruimten. Na 12 minuten is het als eerste vanuit de ouderslaapkamer niet meer mogelijk om te vluchten. Een halve minuut later is ontvluchting via de overloop, en daarmee ook vanuit de babykamer, niet meer mogelijk. In de babykamer is de beschikbare redtijd, ondanks de tweede gesloten deur, slechts 6 seconden langer dan in de ouderslaapkamer. Voor beide slaapkamers en de overloop is de beschikbare redtijd ongeveer 34 minuten na het afgaan van de rookmelder op de overloop.

Ook in test 4 is in de babykamer sprake van 2 gesloten deuren en in de ouderslaapkamer van 1 gesloten deur tussen de ruimte en de brandhaard. In deze test vindt de rookverspreiding ook plaats via houten plafond-/vloerconstructie en niet via de verkeersruimten. Na ongeveer 8,5 minuten is het vanuit de ouderslaapkamer niet meer mogelijk om te vluchten. Ruim een halve minuut later is ontvluchting via de overloop, en daarmee ook vanuit de baby-

<sup>101</sup> Daarnaast blijkt uit de geluidstesten dat een (niet gekoppelde) rookmelder op de overloop al met 1 deur dicht het geëiste volume van 65 dB(A) niet meer bereikt wordt in de woonkamer en keuken. De rookmelder in de hal is vanwege de houten vloerconstructie nog net met een voldoende volume te horen in de slaapkamers (metingen zijn 75 en 76 dB(A), grens ligt op 75 dB(A)).

kamer, niet meer mogelijk. In de babykamer is het, ondanks de rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie, tot het einde van de test mogelijk om de brand te overleven en in de ouderslaapkamer is de beschikbare reedtijd 10 minuten. Ook in deze test heeft het gesloten houden van deuren nauwelijks effect op de beschikbare vluchttijd, maar lijkt het wel invloed te hebben op de beschikbare reedtijd. Een eventuele redding moet na 27 minuten na het afgaan van de rookmelder niet via de overloop uitgevoerd worden, aangezien dan de grens voor overleefbaarheid op de overloop bereikt is.

In test 3 zit tussen de brandhaard en de babykamer 1 gesloten deur en de ouderslaapkamer staat in open verbinding met de brandruimte. Hier is de situatie op de overloop bepalend voor de ontvluchting en daarmee is er geen verschil tussen de babykamer en de ouderslaapkamer. In beide gevallen is de beschikbare vluchttijd ongeveer 1 minuut<sup>102</sup>. De beschikbare reedtijd is op de overloop ruim 9 minuten, in de ouderslaapkamer ongeveer 10 minuten en in de babykamer ongeveer 35 minuten.

Ook in test 5 zit tussen de brandhaard en de babykamer 1 gesloten deur en staat de ouderslaapkamer in open verbinding met de brandruimte. In deze test is de situatie op de overloop bepalend voor de vluchtmogelijkheid, waardoor er geen verschil is tussen de twee slaapkamers. Na het afgaan van de rookmelder op de overloop is bijna 4,5 minuten beschikbaar voor ontvluchting. Doordat de deur van de babykamer gesloten is, kan tot het einde van de test in de ruimte overleefd worden. In de gehele woning is er tot het einde van de test de mogelijkheid om gered te kunnen worden. Daardoor is er geen effect waarneembaar voor het sluiten op de beschikbare vlucht- en reedtijd.

#### *Effect van sluiten van deur van brandruimte én verblijfsruimte*

Tenslotte is, voor de testen waarbij de brand in de ouderslaapkamer is ontstaan, de situatie waarin alle slaapkamerdeuren gesloten waren (test 1) vergeleken met de situatie waarin alle slaapkamerdeuren open stonden (test 6). Hieruit blijkt dat wanneer alle deuren dicht zijn, en de brand op de verdieping ontstaat, men de brand niet alleen op de begane grond maar ook op de verdieping – met uitzondering van de brandruimte – kan overleven. Dat is niet het geval wanneer alle deuren open staan. Dan is in de babykamer, na het afgaan van de rookmelder, nog geen 2,5 minuten beschikbaar voor redding. Voor ontvluchting is 1,5 minuten beschikbaar, terwijl met alle deuren dicht ruim 33 minuten beschikbaar is.

Hoewel de branden onderling nauwelijks met elkaar te vergelijken zijn, kan gesteld worden dat bij de branden op de begane grond er op de verdieping weinig verschil is in de beschikbare reedtijd wanneer de deur van de brandruimte open of gesloten is en de deur van de andere verblijfsruimte dicht is: In de babykamer is de beschikbare reedtijd met een gesloten deur van de brandruimte 34 minuten en maximaal (tot het einde van de test) en met een open deur 35 minuten en maximaal. Bij een geopende deur van de verblijfsruimte is er wel een verschil: in de ouderslaapkamer is de beschikbare reedtijd met een gesloten deur van de brandruimte 34 minuten en 10 minuten, terwijl met een open deur van de brandruimte dit 22 minuten en 10 minuten is. Dit komt echter door verspreiding via de constructie. In woningen met bijvoorbeeld betonnen vloeren zal het sluiten van de deuren op de benedenverdieping een naar verwachting wel een positief effect hebben.

#### *Conclusie*

Geconcludeerd kan worden dat het sluiten van de deur van de brandruimte een aanzienlijk positief effect heeft op de omgevingscondities in de aangrenzende verkeersruimten. Het heeft daarentegen ook een aanzienlijk negatief effect op de snelheid van alarmering en de hoorbaarheid van de rookmelder(s). In het slechtste geval gaat de rookmelder bij een dichte deur ongeveer 4 minuten later in alarm dan wanneer de deur van de brandruimte open staat.

---

<sup>102</sup> In deze test gaat de optische rookmelder op de overloop niet af, mogelijk vanwege een defect. Daarom is gerekend met het moment dat de thermische melder af is gegaan.



Voor aanwezig in de brandruimte heeft het sluiten van de deur van de brandruimte een aanzienlijk negatief effect. De rookmelder kan bij een dichte deur te laat afgegaan om te vluchten of zelfs om gered te kunnen worden, terwijl met de deur open na het alarm nog ten minste 1,5 minuten tijd is om te vluchten.

Bij een houten vloerconstructie (en mogelijk ook bij andere constructies met holle ruimten en/of kleine openingen) bestaat er bovendien kans op rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie wanneer de deur van de brandruimte gesloten is. Ondanks dat daardoor de rookmelder in de verkeersruimte pas afgaat als de rook al in de slaapkamers is, blijkt nog ruime tijd (ten minste 8,5 minuten) om vanaf de verdieping te vluchten.

Wanneer de rookverspreiding wel via de verkeersruimte plaatsvindt, dan leidt alleen het sluiten van de slaapkamerdeur, tot een grotere kans op overleven van de brand, maar niet tot een grotere kans op ontvluchting. Voorwaarden zijn wel dat men tot aan de redding in de ruimte met gesloten deur blijft en de deur tussentijds niet open doet, dat de brandweer weet waar de mensen zijn die gered moeten worden en dat redding van buitenaf plaatsvindt en niet via de hal en overloop. Wanneer ook de deur van de brandruimte gesloten is, dan is ook voor ontvluchting aanzienlijk meer tijd beschikbaar.

## **Maatregel 2: Gekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten**

Uit de geluidstest (zie paragraaf 5.2) is al gebleken dat het bereik van de rookmelders in de testwoning zodanig beperkt is dat de rookmelders in de hal en op de overloop gekoppeld moeten worden om te kunnen voldoen aan de volume-eisen van het Bouwbesluit.

In testen 1 en 6, waar de brand in de ouderslaapkamer ontstaat, maakt het voor de ontvluchting vanuit alle ruimten niet uit of de rookmelders nu wel of niet gekoppeld zijn. Ook de beschikbare redtijd wordt door deze maatregel niet verlengd.

In test 2 ontstaat de brand in de keuken. Door de rookmelder in de hal te koppelen aan de rookmelder op de overloop, is er vanaf de verdieping ruim 6 minuten extra tijd beschikbaar om te vluchten of te redden. Voor de ontvluchting en redding op de begane grond heeft de maatregel geen effect.

In de testen 3, 4 en 5 ontstaat de brand in de woonkamer. Wanneer de rookmelders in de hal en overloop gekoppeld worden, is in test 3 en 4 op de verdiepingen meer tijd beschikbaar voor ontvluchting en redding. In test 3 is namelijk ruim 3 minuten extra beschikbaar en in test 4 bijna 4,5 minuten. Voor de ontvluchting en redding op de begane grond heeft de maatregel geen effect. In test 5 is geen effect waarneembaar omdat de omgevingscondities in de basisconditie al tot het einde van de test goed blijven.

### *Conclusie*

Wanneer de brand op de verdieping ontstaat (en er geen mensen in een bovenliggende verdieping aanwezig zijn) heeft het koppelen van rookmelders geen effect. Immers, de rookmelder die als eerste afgaat, hangt in de verkeersruimte waar de mensen op verdieping als eerste doorheen moeten vluchten. Wanneer de brand echter op de begane grond ontstaat, heeft het koppelen een groot effect. Met de maatregel is in de brandtesten tot 6 minuten extra tijd voor ontvluchting of redding vanaf de verdieping gewonnen. Voor de ontvluchting en redding op de begane grond heeft de maatregel geen effect. Het koppelen van rookmelders kan desondanks bij veel woningbranden het verschil maken tussen wel of niet zelfstandig kunnen vluchten en soms zelfs tussen leven en dood. Uit de analyse van woningbranden, in de periode 1 juli tot en met 31 december 2014 in de Veiligheidsregio's Drenthe en Noord- en Oost-Gelderland, blijkt namelijk dat het merendeel (72%) van de woningbranden op de begane grond zijn ontstaan.



### Maatregel 3: Gekoppelde optische rookmelders in verkeersruimten en brandruimte

In iedere ruimte van de woning is een optische rookmelder geplaatst. In deze paragraaf wordt het effect besproken van de maatregel om een rookmelder in een potentiële brandruimte, welke is gekoppeld aan de rookmelder in de verkeersruimten.

De maatregel heeft vooral effect in de brandruimten waarin de rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte te laat af is gegaan. Dat gebeurde in testen 1 (brand in ouderslaapkamer, deur dicht) en 2 (keukenbrand). Door een rookmelder in de slaapkamer (test 1) of keuken (test 2) te plaatsen, wordt niet alleen een tijdswinst van 3,5 minuten, respectievelijk 5,5 minuten geboekt, maar zorgt de rookmelder er juist voor dat er überhaupt gevlucht kan worden. Vanuit de overige ruimten op de verdieping in test 1, geeft de maatregel een tijdswinst van bijna 3,5 minuten. Op de begane grond heeft de maatregel geen effect doordat al maximale tijd voor ontvluchting (en redding) beschikbaar was. Voor de overige ruimten in test 2 wordt door het koppelen op de begane grond met ongeveer 5,5 minuten verlengd en op de verdieping met ruim 13 minuten.

In test 3 (brand in bank in woonkamer, deur open) geeft de gekoppelde rookmelder in de brandruimte een tijdswinst van ongeveer een halve minuut op de begane grond en van 3,5 minuten op de verdieping. In test 4 (brand in bank in woonkamer, deur dicht) en test 5 (brand in TV in woonkamer, deur open) wordt de vluchttijd op de begane grond met bijna 1 minuut verlengd. Voor de ontvluchting vanaf de verdieping is in test 4 vanwege de rookmelder in de brandruimte bijna 5,5 minuten extra tijd beschikbaar. In test 5 is op de verdieping geen effect waarneembaar omdat daar de omgevingscondities tot het einde van de test goed blijven.

In test 6 is de te boeken tijdswinst het kleinst. Op de begane grond was al maximale vluchttijd beschikbaar, waardoor de maatregel daar geen effect heeft. Op de verdieping wordt de vluchttijd daarentegen met bijna een halve minuut verlengd. Aangezien de beschikbare vluchttijd zonder de maatregel slechts 1,5 minuten is, kan de halve minuut verlenging het verschil maken tussen wel of geen kans op ontvluchting (of redding).

#### *Conclusie*

Door rookmelders niet alleen in de verkeersruimten, maar ook in alle ruimten waarin brand kan ontstaan en/of waar mensen slapend kunnen verblijven, en de rookmelders onderling te koppelen, kan een enorme tijdswinst geboekt worden voor ontvluchting (en redding). De maatregel heeft vooral effect in de brandruimten waarin de rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte te laat af is gegaan. In de brandtesten is gebleken dat hierdoor niet alleen een tijdswinst tot 5,5 minuten behaald wordt, maar de rookmelder zorgt er juist voor dat er überhaupt gevlucht kan worden. Ook in gevallen waarin de rookgassen niet nabij de rookmelder kan komen, bijvoorbeeld door het effect van rookverspreiding via de plafond-/vloerconstructie, van luchtstroming of doordat de deur van de brandruimte dicht is, zorgt een gekoppelde rookmelder in de potentiële brandruimte voor een beduidend effect. In de situatie zonder rookmelder in de brandruimte, zal de rookmelder in de aangrenzende verkeersruimte namelijk niet, of niet op tijd, af gaan. In de brandtesten was de tijdswinst in het slechtste geval een halve minuut. Aangezien de beschikbare vluchttijd zonder de maatregel slechts 1,5 minuten is, kan de halve minuut verlenging het verschil maken tussen wel of geen kans op ontvluchting (of redding).

Gezien de soms doorslaggevende tijdswinst die voor ontvluchting en redding behaald kan worden, is het plaatsen van gekoppelde rookmelders in de potentiële brandruimten, en in ruimten waarin mensen slapend kunnen verblijven, sterk aan te bevelen.