

M. Kobes

Understanding Human Behaviour in Fire

**Validation of the Use of Serious Gaming
for Research into Fire Safety Psychonomics**



UNDERSTANDING HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE

**Validation of the Use of Serious Gaming for
Research into Fire Safety Psychonomics**

Margrethe Kobes

Thesis committee:

Prof.dr. I. Helsloot, VU Amsterdam *promotor*
Prof.dr.ir. B. de Vries, TU Eindhoven *copromotor*
Dr.ir. J.G. Post, Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid
Dr. K. Boyce, University of Ulster
Prof.dr. P. van Hees, Lund University
Prof.dr.ir. S.P. Hoogendoorn, TU Delft
Prof.dr. W. Dijkstra, VU Amsterdam

Printed in The Netherlands by VU University Amsterdam

© M. Kobes 2010

All rights reserved. No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilised in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without the prior permission of the author.

Cover photo: Fire in Dutch football stadium (2008), by B. Tuitman

Cover design and layout: M. Kobes

Title in Dutch: Menselijk gedrag bij brand. Validatie van de toepassing van serious gaming in onderzoek naar brandveiligheidspsychonomie.

VRIJE UNIVERSITEIT

UNDERSTANDING HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE

Validation of the Use of Serious Gaming
for Research into Fire Safety Psychonomics

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad Doctor aan
de Vrije Universiteit Amsterdam,
op gezag van de rector magnificus
prof.dr. L.M. Bouter,
in het openbaar te verdedigen
ten overstaan van de promotiecommissie
van de faculteit der Sociale Wetenschappen
op maandag 25 oktober 2010 om 15.45 uur
in de aula van de universiteit,
De Boelelaan 1105

door

Margrethe Kobes

geboren te Zevenhuizen

promotor: prof.dr. I. Helsloot
copromotor: prof.dr.ir. B. de Vries

Samenvatting met Conclusies en Aanbevelingen

1 Introductie

Het cruciale aspect van brandveiligheid van gebouwen is de mogelijkheid voor het veilig vluchten. Een belangrijke voorwaarde hierbij is dat de brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw in geval van brand een zelfstandige en adequate reactie van de aanwezigen mogelijk maakt. In de praktijk blijken de huidige bij wet voorgeschreven veiligheidsmaatregelen niet altijd de ondersteuning te bieden die mensen in geval van brand nodig hebben. Dit komt doordat in de loop van de eeuwen een hiaat is ontstaan tussen enerzijds het brandveiligheidsbeleid en anderzijds de technologische en menselijke aspecten die daadwerkelijk de brandveiligheid bepalen. Bovendien worden in het huidige (Nederlandse) beleid diverse veronderstellingen gedaan die niet consistent zijn met de kennis uit de literatuur. Om de brandveiligheidsmaatregelen zo te ontwerpen dat zij de benodigde ondersteuning bieden tijdens een incident, is het inzicht in het menselijk gedrag bij brand en gedurende een evacuatie van essentieel belang. Daarom zou gebruik gemaakt moeten worden van de beschikbare wetenschappelijke kennis op het gebied van psychonomie. Psychonomie omvat een benadering van psychologie die gericht is op het ontdekken van de wetmatigheden die de werking van de menselijke geest bepalen. Deze wetmatigheden geven inzicht in de wijze waarop mensen informatie verwerken. Bij psychonomie op het gebied van brandveiligheid gaat het vooral om de menselijke perceptie van brand en de gebouwde omgeving.

De psychonomische benadering kan geïmplementeerd worden door gebruik te maken van een beoordelingssysteem dat is gebaseerd op de principes van *Fire Safety Engineering*. Met dit beoordelings-systeem kunnen de benodigde brandveiligheidsmaatregelen voor een gebouwontwerp vastgesteld worden op basis van drie scenario's, namelijk het brandscenario, het brandbestrijdings-scenario en het gedragscenario van de aanwezigen in een gebouw. Om een aannemelijk gedragsscenario te kunnen voorspellen, is nieuwe data nodig over evacuatiegedrag in verschillende omgevingen en omgevingscondities. Omdat extra psychische spanningen als gevolg van oriëntatieproblemen de cognitieve processen en het menselijk gedrag kunnen aantasten, is het

gemak om de weg (naar een nooduitgang) te vinden – oftewel, het gemak van wayfinding - zeer belangrijk voor het overleven van een evacuatie bij brand. Wayfinding kan worden beschreven als het proces van ruimtelijke oriëntatie en besluitvorming, waarbij voor de navigatie in een gebouwde omgeving gebruik wordt gemaakt van ruimtelijke kennis en aanwijzingen uit die omgeving. Hoewel sommige aspecten van wayfinding tijdens evacuatie zijn onderzocht, wordt het niet uitvoerig in de literatuur besproken. In het bijzonder is er weinig inzicht in de wijze waarop mensen hun vluchtroute vinden en hoe dit proces van wayfinding met layout en ontwerpmaatregelen kan worden ondersteund.

Om nieuwe data over het menselijk gedrag bij brand te verzamelen kan praktijkonderzoek uitgevoerd worden. Bij praktijkonderzoek op gebied van menselijk gedrag bij brand is het verstandig om het onderzoek uit te voeren in omgevingscondities die vergelijkbaar zijn met een echte brandsituatie. Maar om de veiligheid van de testpersonen te kunnen garanderen is het in een praktijkonderzoek nauwelijks verantwoord om mensen op een realistische wijze bloot te stellen aan het fenomeen van brand. De confrontatie met stressoren van een echte brand is aanwezig bij casestudies, maar dit type van brandonderzoek wordt bepaald door de situatie van het incident en wordt niet gestuurd door een specifieke kennisbehoefte. In een serious game is het mogelijk om mensen op een realistische wijze te confronteren met het fenomeen brand, zonder hen daarbij bloot te stellen aan de enorme gezondheidsrisico's van een echte brand. De verwachting is daarom dat de toepassing van serious games een waardevolle aanvulling is op de huidige onderzoeksmethoden. Deze nieuwe onderzoeksmethode is naar verwachting geschikt om op basis van psychonomie de benodigde brandveiligheidsvoorzieningen in een gebouwo ontwerp vast te kunnen stellen.

Een serious game is een spel dat gebruik maakt van interactieve simulatie door middel van computertechnologie. Interactieve simulatie is de weergave van de rol van een mens, de omgeving, of beiden, die in de loop van de speltijd zullen veranderen als de speler wel of geen acties uitvoert. Serious games hebben het doel om bij de spelers een variatie van cognitieve, sensorische en emotionele ervaringen te veroorzaken, ongeacht de middelen waaruit het spel bestaat.

Tekstbox 1.

De belangrijkste doelstelling van het onderzoek is de validatie van een nieuwe onderzoeksmethode, waarbij gebruik gemaakt wordt van serious gaming. Deze nieuwe onderzoeksmethode bestaat uit een analysemodel waarmee de zelfredzaamheid bij brand in gebouwen op systematische wijze bestudeerd kan worden (Analysemodel vluchtveiligheid), en uit een virtuele omgeving waarin het menselijk gedrag uitvoerig bestudeerd kan worden, namelijk de serious game ADMS-BART. Nadat het gebruik van ADMS-BART als onderzoeksmethode is gevalideerd, kan een veelvoud aan experimenten uitgevoerd worden om te bepalen welk gebouwontwerp het beste past bij het werkelijke menselijk gedrag bij brand.

De nieuwe onderzoeksmethode is ontwikkeld om inzicht te krijgen in evacuatiegedrag en in het effect van het gebouwontwerp op dat evacuatiegedrag, en in het bijzonder op wayfinding. De aanvullende doelstellingen van het onderzoek zijn daarom de volgende:

- Het verkrijgen van inzicht in het menselijk gedrag bij brand, in het bijzonder in de intenties waarop evacués hun vluchtroute bepalen.
- Het bestuderen van de invloed van aspecten van menselijke factoren, gebouwfactoren en brandfactoren op de zelfredzaamheid bij brand, en met name op het vermogen om de weg te kunnen vinden (wayfinding).

2 Resultaten uit de literatuurstudie

2.1 Synopsis

Het wetenschappelijk onderzoek op gebied van menselijk gedrag bij brand is relatief nieuw, hoewel sinds het begin van de 20ste eeuw meerdere studies op dit gebied zijn uitgevoerd. Toch is onze kennis over het menselijk gedrag bij brand op dit moment nog zeer beperkt. Om het brandveiligheidsbeleid te kunnen optimaliseren, is het belangrijk om te begrijpen waarom bepaalde incidenten hebben geleid tot vele slachtoffers, of waarom een schijnbaar rampzalige gebeurtenis in zeer weinig slachtoffers resulteerde. Deze vragen waren het uitgangspunt voor een literatuurstudie, die was gericht op het identificeren van de kritieke factoren die van invloed zijn op de zelfredzaamheid bij brand.

Zelfredzaamheid bij brand is het menselijk vermogen om signalen van gevaar waar te nemen en te interpreteren, om beslissingen te nemen en om acties uit te voeren die gericht zijn op het overleven van een brandsituatie.

Tekstbox 2.

De definitie van zelfredzaamheid bij brand is gebaseerd op de kennis over het evacuatieproces. Dit proces is opgedeeld in drie activiteiten en fasen:

- Bewustwording van gevaar door externe stimuli (periode van waarneming)
- Validatie van en reactie op gevaarsignalen (periode van besluitvorming)
- Verplaatsing naar / schuilen op een veilige plaats (periode van verplaatsing)

Uit diverse incidentanalyses is een verband gevonden tussen een vertraagde ontvluchting en een groot aantal doden of gewonden, vooral in gebouwen waarin wordt geslapen, zoals woongebouwen en hotels. Om te bepalen welke maatregelen de periode van waarneming en besluitvorming kunnen verkorten, en welke aspecten van invloed zijn op de keuzes die gemaakt worden, is informatie nodig over de percepties, intenties en motieven van mensen die een brand proberen te ontvluchten. Uit de literatuurstudie naar de kritische factoren die de zelfredzaamheid bepalen, is naar voren gekomen dat het menselijk gedrag wordt bepaald door een interactie met de omgevingscondities en met de brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw. Op hoofdlijnen zijn drie categorieën van factoren bepalend voor de mate van zelfredzaamheid bij brand:

- Brandkenmerken
- Menskenmerken
- Gebouwkenmerken

Deze drie groepen van factoren zijn onderverdeeld in meerdere gedetailleerde kenmerken.

2.2 Conclusie en aanbeveling uit de literatuurstudie

Conclusie 1: De huidige kennis over het menselijk gedrag bij brand moet worden uitgebreid door nader onderzoek uit te voeren.

- Er is nader onderzoek nodig naar de invloed van omgevingsfactoren (brandsituatie, gebouwoontwerp en sociale factoren) op het menselijk gedrag bij brand in

gebouwen. In het bijzonder bestaat er nog weinig inzicht in de wijze waarop mensen hun vluchtroute vinden. Ook is er nog nauwelijks onderzoek gedaan naar hoe dit proces (van wayfinding) door de lay-out en het gebouwoontwerp ondersteund kan worden.

- Voor brandveiligheidsbeleid is nadere kennis nodig over maatregelen die een positieve invloed zullen hebben op de zelfredzaamheid bij brand. Om te bepalen welke maatregelen de besluitvormingstijd zullen verkorten en welke voorzieningen zullen leiden tot de keuze van de juiste vluchtroute, is informatie nodig over de perceptie, intenties en motieven van mensen die bij brand uit een gebouw vluchten.

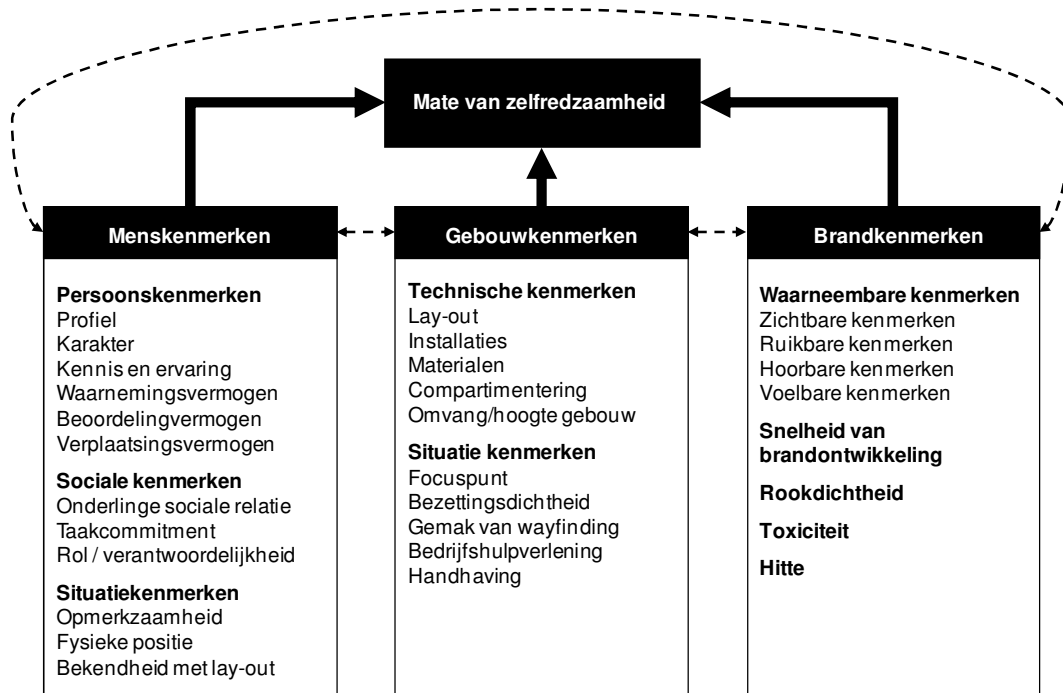
Aanbeveling 1: Brandveiligheidsmaatregelen zouden gebaseerd moeten zijn op de psychonomische interactie tussen de gebouwkenmerken en het menselijk gedrag bij brand.

3 Case studie op basis van het 'Analysemodel vluchtveiligheid'

3.1 Synopsis

Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat de mate van zelfredzaamheid wordt beïnvloed door drie groepen van factoren, namelijk de brandkenmerken, de menskenmerken en de gebouwkenmerken.

De drie groepen factoren, en de subfactoren, zijn samengebracht in het 'Analysemodel vluchtveiligheid'. Daarmee geeft het analysemodel een overzicht van de kritieke factoren die de zelfredzaamheid bij brand in gebouwen bepalen. Het model houdt rekening met de interactie tussen de menskenmerken en de gebouwkenmerken, evenals met de interactie tussen menskenmerken en brandkenmerken en met de interactie tussen brandkenmerken en gebouwkenmerken. Het analysemodel is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Kritische factoren voor zelfredzaamheid bij brand (Analysemodel vluchtveiligheid)

Om het analysemodel toepasbaar te maken voor nader onderzoek naar het menselijk gedrag bij brand in gebouwen, is het model omgevormd tot een kwalitatief analysemodel. De verwachte invloed van de typerende kenmerken van zelfredzaamheid bij brand zijn op basis van de gegevens uit de literatuurstudie bepaald. Bovendien is de toepassing van het kwalitatieve analysemodel als een *a priori theorie* voor case studies naar brandveiligheidspsychonomie geverifieerd. Voor de verificatie is het analysemodel gebruikt bij een case studie naar het menselijk gedrag bij brand in een voetbalstadion.

Uit de case studie is naar voren gekomen dat de voorspellingen in het analysemodel overeenkomen met de kenmerken die bij de brand in het voetbalstadion een rol speelden. Er moet alleen een extra invloedsniveau aan de factor 'hitte' worden toegevoegd, namelijk de positieve invloed van een gemiddeld hitteniveau; dit is slechts een kleine wijziging in het model.

Verder is uit de case studie naar voren gekomen dat de handhaving van veiligheidsvoorschriften een essentiële rol speelt bij het ontstaan van een incident. Als de toeschouwers geen brandbare materialen konden meenemen in het voetbalstadion, en

als de brandslanghaspels hadden gefunctioneerd, zou het incident niet geleid hebben tot een situatie die een evacuatie onvermijdelijk maakte. De rook was één van de kenmerken die het sterkst van invloed is geweest op de zelfredzaamheid bij brand. De rook blokkeerde een van de vluchtroutes en belemmerde het zicht op de vluchtrouteaanduidingen. Twee belangrijke redenen voor de vertraagde ontvluchting waren de bekendheid van de supporters met de lay-out van het stadion, en de moeilijkheid om de weg naar de nooduitgangen te vinden. Omdat de aanwezigen de locaties van de normale uitgangen kenden, zochten zij geen alternatieve uitgang op het moment dat de gebruikelijke uitgangen geblokkeerd waren.

3.2 Conclusies en aanbevelingen uit de case studie

Conclusie 2: Het gebruik van het 'Analysemodel vluchtveiligheid' resulteert in een systematische analyse. Verder geeft het een duidelijk overzicht van, en inzicht in, het effect van verschillende aspecten van de zelfredzaamheid bij brand van de aanwezigen in een gebouw. Wel heeft het analysemodel twee beperkingen:

- De eerste beperking van het analysemodel is dat niet alle eigenschappen op basis van de bestaande literatuur voorspeld kunnen worden. Zo kon de invloed van vluchtrouteaanduiding niet worden voorspeld. Ook kon de invloed van een noodverlichtingsstelsel, de omvang van het gebouw (wat geen invloed leek te hebben bij de brand in het voetbalstadion), de lage bezettingsdichtheid en de gebruikersprofielen, de invloed van de persoonlijkheid van de aanwezigen en de bekendheid met de lay-out (wat een negatieve invloed leek te hebben bij de brand in het voetbalstadion) niet worden voorspeld.
- De tweede beperking is dat het analysemodel een kwalitatieve analyse levert. Dit betekent dat de weging van de effecten van verschillende kenmerken van zelfredzaamheid afhangt van het oordeel van de onderzoeker.

Aanbeveling 2: Om het model geschikt te maken voor een meer kwantitatieve en objectieve analyse wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen.

Conclusie 3: Het 'Analysemodel vluchtveiligheid' geeft een afdoende voorspelling van de mate van zelfredzaamheid bij brand.

Aanbeveling 3: Aanbevolen wordt het 'Analysemodel vluchtveiligheid' te gebruiken om denkbare brand- en gedragsscenario's vast te stellen die gebaseerd zijn op de gebouwkenmerken en op de kenmerken van de aanwezigen in het gebouw.

Conclusie 4: Het ontoereikende onderhoudsniveau van de veiligheidsvoorzieningen in het voetbalstadion heeft geleid tot een lage mate van zelfredzaamheid. In andere case studies is vaker gebleken dat een slecht onderhoudsniveau leidt tot een ernstig incident.

Aanbeveling 4: Met betrekking tot de gebouwkenmerken is het duidelijk dat er een grotere nadruk op het onderhoud (van brandveiligheidsvoorzieningen) zou moeten liggen, Om daarmee de zelfredzaamheid te verbeteren. Daarnaast wordt geadviseerd om bij het ontwerp van een voetbalstadion rekening te houden met de factor van opwaartse rookverspreiding.

Conclusie 5: Twee situationele factoren, namelijk het focuspunt en het BHV-team, droegen eveneens bij aan de vertraging in de evacuatie tijd. De supporters kregen geen signalen dat de wedstrijd werd uitgesteld. Daarom bleven zij wachten op de start van de wedstrijd.

Aanbeveling 5: Om de zelfredzaamheid te verbeteren, wordt aanbevolen dat het gebouwmanagement of het BHV-team meer inzet op communicatie wanneer zich een ongeval voordoet. Dit zou bij voorkeur via meerdere communicatiemiddelen gedaan moeten worden. Het is raadzaam duidelijk aan de supporters mee te delen dat de situatie niet normaal is en dat daarom aangepast gedrag nodig is. Met andere woorden, zij moeten ondersteund worden in hun beoordelingsvermogen.

4 Methoden voor onderzoek naar brandveiligheid van gebouwen

4.1 Synopsis

Er zijn verschillende analyse-instrumenten en modellen ontwikkeld om het niveau van brandveiligheid van een gebouw te bepalen. De

wereldwijd toegepaste *Fire Safety Engineering* modellen voor de bedreigtijd (ASET) en de vluchttijd (RSET) zijn voorbeelden van traditionele methoden voor risicobeoordeling. Evacuatie(simulatie) modellen hebben in de afgelopen drie decennia een belangrijke rol gespeeld in het overgangsproces van prescriptieve regelgeving op gebied van brandveiligheid naar *performance based* regelgeving. Met de ontwikkeling van simulatietools voor de ondersteuning in het ontwerpproces is de toepassing van *engineering* methoden belangrijk geworden. Daarom is het nog belangrijker om de juiste inputparameters voor *engineering* methoden te verkrijgen.

Om de noodzakelijke gegevens te verzamelen, bijvoorbeeld over menselijk gedrag bij brand, kunnen verschillende onderzoeksmethoden worden toegepast. De huidige kennis over menselijk gedrag bij brand wordt voornamelijk gehaald uit experimenten, zoals onaangekondigde ontruimingsoefeningen, en uit case studies, zoals incidentevaluaties. Nieuwe methoden die in brandveiligheidsonderzoek toegepast worden zijn het gebruik van simulaties en serious gaming. Meerdere onderzoekers hebben al gebruik gemaakt van een serious game in psychologisch onderzoek, aangezien het onderzoekers de mogelijkheid biedt om een realistische situatie te simuleren en emoties op een gecontroleerde en gestandaardiseerde wijze op te wekken. Zelfs voor gedragsonderzoek tijdens evacuatie bij brand zijn al serious games gebruikt, zoals door De Vries en Sun (2009) en door Smith en Trendholme (2009).

Vier onderzoeksmethoden, namelijk de methoden van praktijkonderzoek, case studies, het gebruik van evacuatiesimulaties en het gebruik van serious games, zijn geanalyseerd op acht belangrijke aspecten van onderzoek. Dit zijn het realiteitsgehalte van de onderzoeksomgeving, de type observaties, de mate waarin het mogelijk is om mensen echte stressoren te tonen, de mate waarin de situatie onder controle gehouden kan worden, de mate waarin identieke herhalingen van testen uitgevoerd kunnen worden, de tijd- en kostenintensiteit en de mate waarin automatische dataverzameling mogelijk is.

Uit de analyse blijkt dat het met evacuatiesimulaties (rekenmodellen) niet mogelijk is om nieuwe data over het menselijk gedrag te verzamelen. Dit komt doordat de simulatieresultaten voorspellingen zijn, die gebaseerd zijn op bestaande aannames over de werkelijke situatie. Wel is het met simulatie mogelijk om nieuwe hypothesen te ontwikkelen, die vervolgens met behulp van

praktijkonderzoek getoetst kunnen worden. Een case studie is niet de beste methode om inzicht te verkrijgen in brandveiligheidspsychonomie, omdat het nauwelijks mogelijk is om vooraf vastgestelde onderwerpen te onderzoeken. Bovendien bestaat er bij case studies een grote kans dat de beoordelingen van de overlevenden niet noodzakelijkerwijs een reflectie zijn van wat er werkelijk is gebeurd. Toch is de informatie uit case studies wel waardevol om meer inzicht te krijgen in het menselijk gedrag bij een werkelijke brand, vooral wanneer videomateriaal beschikbaar is voor de analyse. In praktijkonderzoek, en bij het gebruik van serious gaming, kan de testomgeving aangepast worden waardoor het mogelijk is om vooraf vastgestelde onderwerpen te onderzoeken. Bovendien is er in beide methoden sprake van een hoge mate van controle over de (test)situatie, is het mogelijk om testen op identieke wijze te herhalen en om data automatisch vast te leggen.

4.2 *Conclusie en aanbeveling uit de evaluatie van onderzoeksmethoden*

Conclusie 6: Om voor brandveiligheidsbeleid en *fire safety engineering* het benodigde inzicht in brandveiligheidspsychonomie te verkrijgen heeft de methode van onaangekondigde ontruimingsoefeningen (praktijkonderzoek) de voorkeur, evenals de methode waarbij gebruik gemaakt wordt van serious gaming. De methode van onaangekondigde ontruimingsoefeningen is een wetenschappelijk geaccepteerde methode voor onderzoek naar menselijk gedrag bij brand. Het gebruik van serious gaming is daarentegen nog niet op overtuigende wijze gevalideerd voor onderzoek naar menselijk gedrag bij brand.

Aanbeveling 6: Om op betrouwbare wijze gebruik te maken van serious gaming in gedragsonderzoek is het noodzakelijk om de validiteit van de nieuwe onderzoeksmethode wetenschappelijk te verifiëren.

5 **Ontwikkeling van de serious game ADMS-BART**

5.1 *Synopsis*

De serious game 'ADMS-BART' is ontwikkeld om de mogelijkheden van virtual reality voor het bestuderen van het menselijk gedrag bij brand te implementeren in praktijkonderzoek. Deze

*Behavioural Assessment and Research Tool*¹ (BART) is gebaseerd op een uitgebreid toegepast en getest simulatieplatform dat al vele jaren wereldwijd wordt gebruikt bij hulpverleningstrainingen. Het simulatieplatform is de *Advanced Disaster Management Simulator*² van ETC Simulation met de incidentscenario's van NIFV (NIFV-ADMS). De eerste ontwikkeling van NIFV-ADMS begon in 2000. Aangezien onverwachte gebeurtenissen, onbekende situaties, tijdsdruk en levensbedreigende situaties belangrijke contextuele factoren vormen voor hulpverleners, is het ontwerp van NIFV-ADMS en het bijbehorende trainingsprogramma gebaseerd op cognitieve concepten van Klein (1998) en van Rasmussen en Vicente (1989). Meer dan 15,000 mensen hebben een of meerdere trainingen met NIFV-ADMS gevolgd en meer trainingen zullen volgen. De meeste deelnemers aan de trainingen beoordelen de virtuele omgeving net zo stressvol als een echte hulpverleningsactie.

Om de software van ADMS geschikt te maken voor experimenteel onderzoek is het uitgebreid met meerdere functionaliteiten, zoals een volg- en registratie-instrument en een virtuele replica van Hotel Veluwemeer. Het conceptontwerp van het onderzoeksinstrument, *BARTtrial*, is gemaakt in de virtuele omgeving van VR4MAX. Dit conceptontwerp is gebruikt in een gebruiksvriendelijkheidstest, om tijdens het ontwikkelingsproces de mogelijk noodzakelijke aanpassingen van de serious game ADMS-BART te verkennen en om ervaring op te doen met het proces om mensen te trainen in het gebruik van de serious game. Er zijn ook gebruiksvriendelijkheidstesten met ADMS-BART uitgevoerd. De gebruiksvriendelijkheidstesten met ADMS-BART hadden drie doelstellingen:

- Het vaststellen van de perceptie van de virtuele testomgeving voor deelnemers.
- Het verkennen van het gebruiksgemak van de onderzoeksinstrument.
- Het bepalen van de doelgroep voor de toepassing van de onderzoeksinstrument, in termen van het ervaringsniveau in het spelen van computerspellen en leeftijd.

Voorafgaand aan de testen kregen de deelnemers een korte training in het besturen van het computerspel. Deze training had een positieve invloed op de vaardigheid in de besturing van het

¹ Letterlijke vertaling: Gedrag beoordelings- en onderzoeksinstrument.

² Letterlijke vertaling: Geavanceerde rampenmanagement simulator.

computerspel, met name bij mensen zonder enkele ervaring in het spelen van een computerspel. Na de training was het gemiddelde vaardigheidsniveau van de deelnemers met ervaring 7.3 punten op een schaal van 1 (laag) tot 10 (hoog) en voor deelnemers zonder ervaring was de score 6.4 punten.

5.2 *Conclusies en aanbeveling uit gebruiksvriendelijkheidstesten*

Conclusie 7: De gebruiksvriendelijkheid van de projectie op een klein projectiescherm was relatief hoog (gemiddelde waarde van 8.1). Ook de waardering van de projectie op een laptopscherm was ruim voldoende (gemiddelde waarde van 6.6.). Uit de testen met een projectie op een groot projectiescherm kwam naar voren dat het simulatorziekte (cyber sickness) kan veroorzaken. De symptomen van simulatorziekte houden verband met de symptomen van bewegingsziekte, zoals wagenziekte en zeeziekte.

Conclusie 8: De joystick is het besturingsapparaat dat het hoogst scoorde in de gebruiksvriendelijkheidstest. De deelnemers zonder vaardigheid in de besturing van computerspellen gaven de hoogste waardering voor gebruiksvriendelijkheid van de joystick (gemiddelde waarde van 7.5). De deelnemers met computerspelvaardigheid gaven de voorkeur aan de gamepad (gemiddelde waarde van 7.8). Deze groep deelnemers gaf overigens ook een ruime voldoende voor de joystick (gemiddelde waarde van 6.8). De besturing met toetsenbord en muis bleek niet geschikt voor oudere deelnemers en deelnemers zonder computerspelervaring.

Aanbeveling 8: De aanbeveling is om geen gebruik te maken van de besturing met toetsenbord en muis, als een serious game wordt toegepast in gedragsonderzoek met een normale populatie.

Conclusie 9: Het realiteitsgehalte van de visualisatie van *BARTtrial* is volgens de beoordelingen zeer hoog (gemiddelde waarde van 7.4). Met name de deelnemers met computerspelvaardigheid gaven een hoge score voor de visualisatie (gemiddelde waarde van 8.1). Daarom waren er geen visuele aanpassingen nodig voor de testsessies met ADMS-BART.

Conclusie 10: ADMS-BART is in staat een realistische omgeving te simuleren en deelnemers beoordeelden de gesimuleerde omgeving niet als een 'spel'. Het realiteitsgehalte van de omgeving in ADMS-BART was hoog, variërend tussen 7.6 en 8.0 punten in de

verschillende testscenario's. Verder was het gevoel van een noodsituatie gemiddeld, variërend tussen 5.8 en 6.5 punten in de verschillende testscenario's.

Conclusie 11: Er is geen reden om aan te nemen dat de *user interface* (mens-machine interactie) van ADMS-BART invloed zal hebben op het gedrag in de virtuele omgeving, aangezien de beoordeling van het bedieningsgemak van het computerspel hoog is (7.0-7.7), terwijl zelfs de helft van de deelnemers geen ervaring had met het spelen van computerspellen. Het is niet nodig om oudere deelnemers of deelnemers met een laag spelvaardigheidsniveau uit te sluiten van testen in een virtuele omgeving. Er is namelijk geen reden om aan te nemen dat leeftijd en het spelvaardigheidsniveau na training een belangrijke invloed heeft gehad op de uitgangskeuze van beide groepen van deelnemers.

6 Praktijkonderzoek naar wayfinding tijdens brand-evacuatie in een hotel

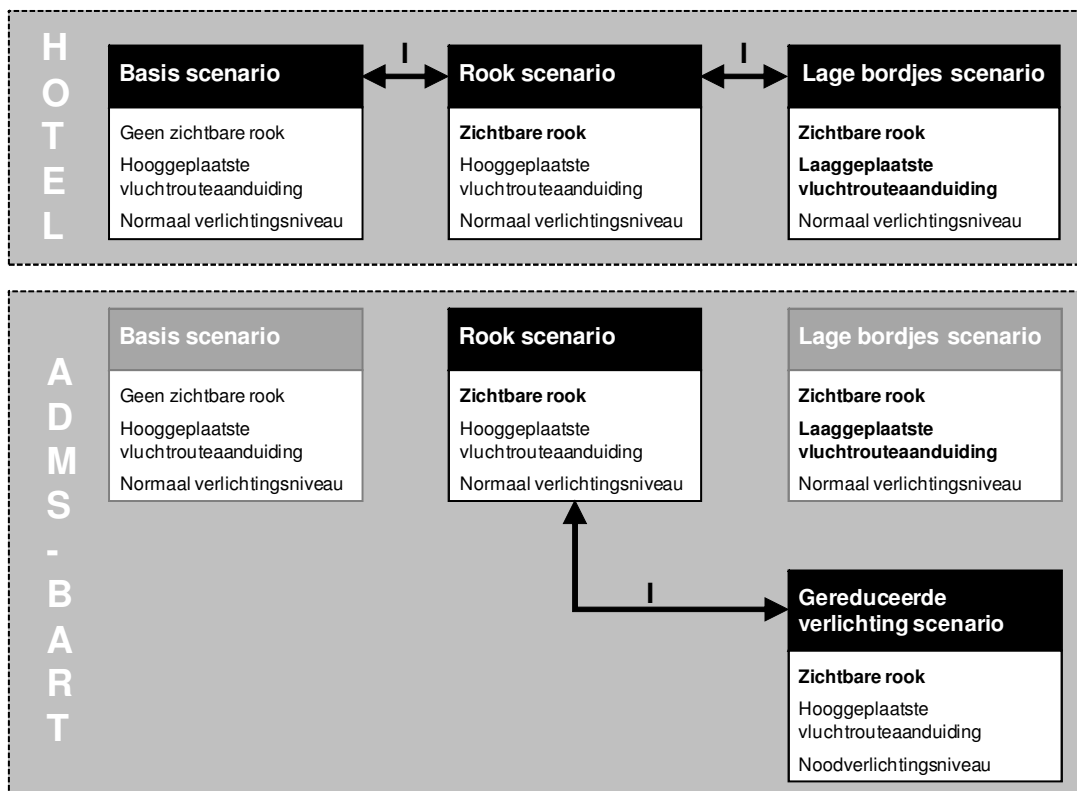
6.1 Synopsis

Om inzicht te krijgen in menselijk gedrag bij brand is praktijkonderzoek uitgevoerd naar gedrag bij wayfinding. De experimenten zijn uitgevoerd in een echte en in een virtuele omgeving. Een ethische commissie van Universiteit Groningen heeft het onderzoeksvoorstel goedgekeurd. Voorafgaand aan de testen hebben de deelnemers een toestemmingsverklaring ondertekend.

Het onderzoek in de echte omgeving is uitgevoerd met een traditionele methode, namelijk met de registratie en evaluatie van een deels onaangekondigde ontruimingsoefening. De deelnemers werden individueel gealarmeerd door middel van een telefoonbericht. De evacuatietesten zijn uitgevoerd in Hotel Veluwemeer, dat vlakbij Amersfoort ligt. De testsessies in het echte hotel bestonden uit een avondsessie en een nachtsessie, maar de deelnemers zijn alleen geïnformeerd over de avondsessie. In de avondsessie vond een groepsbijeenkomst en een neptest plaats. Het ontwerp van de neptest was zo dat de deelnemers dachten dat het de daadwerkelijke test was, waardoor ze niet echt het vermoeden hadden dat 's nachts een ontruimingsoefening gehouden zou worden. Maar de werkelijke test vond 's nachts plaats, waarbij de deelnemers individueel moesten evacueren.

Het onderzoek in de virtuele omgeving vond plaats in een replica van Hotel Veluwemeer in de serious game ADMS-BART. De experimenten in de virtuele omgeving bestonden uit een trainingssessie en een evacuatie-test. De opzet van de evacuatie-test was in basis gelijk aan de opzet van de test in de werkelijke omgeving, met het verschil dat de deelnemer voor een projectiescherm van 1.0 x 1.5 meter stond. Nadat de lichten waren gedoofd zou de test starten en moest de deelnemer reageren alsof het een echte situatie was. De situatie werd aangekondigd als een nachtsituatie in een hotel waarbij de deelnemer in de hotelkamer zou liggen te slapen. De gevisualiseerde kamer was dezelfde kamer die in de trainingssessie was gebruikt.

Het onderzoek bestond uit experimenten die uitgevoerd werden in vier situaties, die als 'scenario' werden aangemerkt. In de echte omgeving werden drie scenario's getest en in de virtuele omgeving vonden testen in vier scenario's plaats, zie figuur 2.



Figuur 2. Testscenario's voor gedragsanalyse

In het eerste scenario was niets veranderd aan de hotelomgeving. Dit was het 'basis scenario'. In het tweede scenario werd een brand gesimuleerd door vanuit een hotelkamer rook in de gang te blazen. Dit was het 'rook scenario'. In het derde scenario was een brand gesimuleerd en waren de groene vluchtrouteaanduidingen van plafondniveau naar vloerniveau verplaatst. Dit is het 'lage bordjes scenario'. De vluchtrouteaanduidingen werden in het lage bordjes scenario op ongeveer 30 centimeter boven de vloer en voor elke set van twee hotelkamerdeuren geplaatst. In het vierde scenario werd een brand gesimuleerd en was het verlichtingsniveau gereduceerd tot het niveau van noodverlichting (ongeveer een lux). Dit was het 'gereduceerde verlichting scenario'.

In totaal zijn 83 testen in de echte omgeving en 46 testen in de virtuele omgeving gebruikt voor de gedragsanalyse. De belangrijkste focus van het experimentele onderzoek ligt op wayfinding bij ontvluchting in geval van brand. In de experimenten zijn vier aspecten voor zelfredzaamheid bij brand onderzocht die de uitkomst mogelijk beïnvloeden, namelijk de invloeden van:

- Persoonlijke factoren
- Omgevingscondities (rook of geen rook)
- De locatie van vluchtrouteaanduidingen (hoog of laag geplaatst)
- Het verlichtingsniveau (normaal of gereduceerd niveau)

De zelfredzaamheid bij brand werd gemeten aan de hand van de uitgangskeuze, de gelopen afstand en de evacuatietijd. Om de invloed van de omgevingscondities op de mate van zelfredzaamheid bij brand te analyseren, zijn de resultaten uit de testen in het rook scenario vergeleken met de resultaten uit het basis scenario (zie 'I' in figuur 2). De mogelijke invloed van de locatie van de vluchtrouteaanduidingen is geanalyseerd door de resultaten van het 'lage bordjes scenario' te vergelijken met de resultaten van het 'rook scenario'. Om de invloed van het verlichtingsniveau te analyseren zijn de resultaten van het 'gereduceerde verlichting scenario' vergeleken met de resultaten van het 'rook scenario'. De testen in alle drie scenario's in de echte omgeving zijn op detailniveau geanalyseerd, aangezien de methode van ontruimingsoefeningen in een echt gebouw een wetenschappelijk geaccepteerde methode voor gedragsonderzoek is. Aangezien de validatie van ADMS-BART het hoofdmotief was voor de testen in de virtuele omgeving, en niet de gedragsanalyse, zijn van de sessies met ADMS-BART alleen de testen in het 'gereduceerde verlichting scenario' en het 'rook scenario' nader geanalyseerd.

6.2 Conclusies en aanbevelingen uit de experimenten in de echte omgeving

Conclusie 12: De aanwezigheid van rook had een significante invloed op de uitgangskeuze.

- Evacués zullen eerder via de dichtstbijzijnde nooduitgang vluchten wanneer de route naar de hoofduitgang door rook is geblokkeerd.
- Rook had een negatief effect op de waardering van het gemak van wayfinding door de deelnemers die via de hoofduitgang zijn gevlucht.

Aanbeveling 12: Er zouden maatregelen getroffen moeten worden om gebouwgebruikers ertoe over te halen om via de dichtstbijzijnde nooduitgang te vluchten. Een aanzienlijk deel van de deelnemers (31%) is namelijk via de hoofduitgang gevlucht, terwijl de route naar de hoofduitgang door rook was geblokkeerd. In een echte brandsituatie zou dit gedrag waarschijnlijk tot slachtoffers geleid hebben.

Conclusie 13: Er is voldoende bewijs om te concluderen dat de lage positie van de vluchtrouteaanduidingen een positief effect heeft gehad op het gebruik van de dichtstbijzijnde nooduitgang.

- Evacués die gebruik maken van vluchtrouteaanduidingen zullen eerder via de dichtstbijzijnde nooduitgang vluchten wanneer de vluchtrouteaanduiding op een lage locatie is geplaatst.
- In de situatie waarin rook aanwezig was bleek het gebruik van vluchtrouteaanduidingen significant effectiever als deze op vloerniveau waren geplaatst.
- De invloed van het gebruik van hooggeplaatste vluchtrouteaanduidingen bleek significant sterker wanneer geen rook zichtbaar was.

Aanbeveling 13: Aanbevolen wordt om aanvullend onderzoek te doen naar de effectiviteit van laaggeplaatste vluchtrouteaanduidingen in verschillende situaties, omdat gebleken is dat het een mogelijke maatregel is om gebouwgebruikers ertoe over te halen via de dichtstbijzijnde nooduitgang te vluchten.

Conclusie 14: Wanneer geen rook waarneembaar is zullen mensen met een significant langere afstand van de kortste route afwijken dan wanneer rook wel waarneembaar is. Het afwijken van

de kortste route wordt opgevat als een indicatie van een verwarrende wayfinding-situatie.

- De verwachting is dat evacués tijdens de ontvluchting van vluchtrichting zullen veranderen door zich om te draaien; dit deed namelijk zo'n 20% van de deelnemers in elk van de drie afzonderlijke scenario's.
- In een situatie waarin geen signalen van een echte brand waarneembaar waren (anders dan het bericht van het brandalarm), aarzelen gebouwgebruikers om via de nooduitgang te vluchten en zullen ze zich naar verwachting omdraaien om via de 'normale uitgang', waarmee ze bekend zijn, te vluchten.
- De afwijking van de kortste route door van looprichting te veranderen (om te draaien) leidt in een situatie met rook doorgaans tot een evacuatie via de dichtstbijzijnde nooduitgang.

Aanbeveling 14: Er is meer aandacht nodig voor het creëren van een duidelijke evacuatiesituatie, aangezien de wayfinding-situatie in een niet-rokerige situatie verwarrend kan zijn en gebouwgebruikers aarzelen om via de dichtstbijzijnde nooduitgang te vluchten. Er is nader onderzoek nodig om de onderliggende redenen voor dit aarzelende gedrag te analyseren en om de mogelijke aanwijzingen vast te stellen die aanwezigen overtuigen van de noodzaak om via de nooduitgang te vluchten. Het gebruik van de dichtstbijzijnde nooduitgang is ook nodig wanneer signalen van brand, zoals rook, niet in de directe omgeving zijn waar te nemen, aangezien de rook mogelijk wel in het volgende gedeelte van de gekozen route aanwezig is.

Conclusie 15: Eerder opgedane kennis van de omgeving, namelijk de kennis van de locatie van de dichtstbijzijnde nooduitgang via een eerdere inspectie of via het gebruik van een vluchtplattegrond, leidt tot een significant frequenter gebruik van de dichtstbijzijnde nooduitgang. De eerdere kennis van een persoon die een BHV-training heeft gehad, heeft waarschijnlijk geen sterke invloed op de keuze van de uitgang bij een brandevacuatie.

Aanbeveling 15: Er is meer aandacht nodig voor het gebruik van vluchtrouteplattegronden, bijvoorbeeld door informatie te geven over de vluchtroute wanneer gasten

inchecken voor een hotelovernachting. Ook is training in brandveiligheid, bijvoorbeeld door mensen bekend te maken met de route naar de dichtstbijzijnde nooduitgang, naar verwachting een effectieve maatregel om het gebruik van nooduitgangen te verbeteren. Er is nader onderzoek nodig om het effect van training in brandveiligheid op het gedrag van wayfinding te verkennen.

Conclusie 16: De aannames over het loopgedrag die in de Nederlandse regelgeving worden gedaan, komen niet overeen met de resultaten uit het praktijkonderzoek. De bevindingen uit het praktijkonderzoek over de loopsnelheid en loopafstand zijn hierna genoemd:

- De gemiddelde loopsnelheid in de experimenten, namelijk ongeveer 0.9 m/s, kwam overeen met de loopsnelheid die in de Nederlandse regelgeving is opgenomen, namelijk 0.83 m/s. Daarentegen liep 42% van de deelnemers in de experimenten langzamer dan 0.83 m/s.
- Er is een loopsnelheid van 1 m/s nodig om de geaccepteerde 30 meter in 30 seconden af te leggen in een bijeenkomstgebouw, zoals een discotheek, met een hoge bezettingsdichtheid van 0.77 tot 2 personen per m². In totaal liep 60% langzamer dan 1 m/s, terwijl in de hotelvleugel sprake was van een lage bezettingsdichtheid.
- Er is een loopsnelheid van 2 m/s nodig om de geaccepteerde 60 meter in 30 seconden af te leggen in een nieuw winkelgebouw met een lage bezettingsdichtheid van 0.05 personen per m². Slechts 6% liep met een snelheid van 2 m/s in de hotelvleugel met een lage bezettingsdichtheid. Bovendien was dit de snelste loopsnelheid die gemeten was.
- In de regelgeving wordt aangenomen dat gebouwgebruikers in geval van nood via de kortste route vluchten. In het scenario zonder waarneembare rook vluchtte 70% van de deelnemers niet via de kortste route, en in de scenario's met waarneembare rook vluchtte ongeveer 35% niet via de kortste route. Dat betekent dat verwacht kan worden dat ademhalingsproblemen zullen optreden wanneer de kortste route naar een 'vluchtdeur' ongeveer 30 meter is, zoals voor verschillende gebruiksfunctie geaccepteerd is in de regelgeving, of zelfs 60 meter is voor nieuwe winkelgebouwen.

Aanbeveling 16: Aanbevolen wordt om de aannames in de Nederlandse regelgeving over loopsnelheid en loopafstand opnieuw in overweging te nemen.

Conclusie 17: Gezien het feit dat sommige deelnemers zich instructies herinnerden die niet waren gegeven, of aangaven dat ze rook hadden gezien in het scenario zonder rook, valt de geschiktheid van vragenlijsten en interviews na een brand-evacuatie te betwisten indien het gebruikt wordt als een methode voor onderzoek naar het menselijk gedrag bij brand.

Aanbeveling 17: Aanbevolen wordt om de antwoorden van evacués zeer voorzichtig te interpreteren. Dit geldt met name wanneer de methode gebruikt wordt om echte brandincidenten te evalueren, wat doorgaans enige tijd na het feitelijke incident plaats vindt. Andere aanbevelingen zijn om technieken te gebruiken die onbetrouwbare uitspraken van overlevenden kunnen elimineren, of om gebruik te maken van *real-time* observaties van het menselijk gedrag bij brand, bijvoorbeeld via de evaluatie van video-opnames van een echte brandevacuatie, of via het gebruik van serious gaming.

6.3 *Conclusies en aanbevelingen uit de experimenten in de virtuele omgeving*

Conclusie 18: Het verlichtingsniveau heeft een significante invloed gehad op de keuze van de uitgang.

- Evacués zullen eerder via de dichtstbijzijnde nooduitgang vluchten wanneer sprake is van een normaal verlichtingsniveau.
- Een laag verlichtingsniveau (ongeveer 1 lux) lijkt het gevoel van haast te versterken, maar het leidt niet tot een snellere evacuatie of tot een significant vaker gebruik van de dichtstbijzijnde nooduitgang.

Aanbeveling 18: Aanbevolen wordt om de eisen in de huidige regelgeving opnieuw in overweging te nemen, aangezien momenteel een laag verlichtingsniveau in geval van nood geaccepteerd wordt.

Conclusie 19: In een situatie met een gereduceerd verlichtingsniveau is het gebruik van verlichte vluchtrouteaanduidingen een mogelijke maatregel om gebouwgebruikers ertoe over te halen via

de dichtstbijzijnde nooduitgang te vluchten. De invloed van het gebruik van de vluchtrouteaanduidingen was namelijk significant effectief in het gereduceerde verlichting scenario. Daar staat tegenover dat de wayfinding-situatie in het scenario met het gereduceerde verlichtingsniveau verwarrend bleek te zijn, gezien de significant langere afwijking van de kortste route.

Aanbeveling 19: Aanbevolen wordt om aanvullend onderzoek te doen naar de effectiviteit van een routeaanduiding die zodanig is ontworpen dat deze contrasteert met de omgevingsituatie.

Conclusie 20: In het 'rook scenario' waren de deelnemers die via de dichtstbijzijnde uitgang vluchtten significant jonger dan de deelnemers die via een andere uitgang vluchtten. Andere onderzochte aspecten van het profiel van de deelnemers, zoals geslacht en opleidingsniveau, hadden geen invloed op de uitgangkeuze.

6.4 *Conclusies uit de vergelijking van bevindingen in literatuur en in experimenten*

Conclusie 21: De bevindingen uit de experimenten zijn vergeleken met de bevindingen in de literatuur. De bevindingen uit de experimenten komen op de volgende punten overeen met de bevindingen in de literatuur:

- Rook heeft een negatief effect op het gemak van wayfinding. Dit betekent dat het negatieve effect van rook op het gemak van wayfinding meegewogen zou moeten worden in de berekening van de evacuatie tijd.
- Mensen met een sterke onderlinge sociale band zullen 'onderling sociaal gedrag' ('*affiliative behaviour*') uiten, zoals het kloppen op de deuren van vrienden en familie. Dit betekent dat het effect van uitingen van onderling sociaal gedrag meegewogen zou moeten worden in de berekening van de evacuatie tijd.

De bevindingen uit de experimenten doen vermoeden dat de volgende aspecten van wayfinding nog niet goed zijn begrepen of geadresseerd in de literatuur:

- In tegenstelling tot de bevindingen in de literatuur verklaarden veel deelnemers in de experimenten dat zij gebruik gemaakt hebben van de vluchtrouteaanduidingen. Daarentegen volgde een derde van deze deelnemers in het

'rook scenario' niet de instructies die de vluchtroute-aanduidingen gaven.

- De bevindingen over verplaatsingstijden lijken aan te tonen dat het gevoel van een noodsituatie hoger is wanneer rook zichtbaar is. Deze veronderstelling wordt daarentegen niet bevestigd door de antwoorden van de deelnemers op de vraag over het gevoel van een noodsituatie.

Aanbeveling 21: In brandveiligheidsbeleid en berekeningen zouden bevindingen op gebied van brandveiligheidspsychonomie opgenomen moeten worden, zoals de uitkomsten van een negatieve invloed van rook op het gemak van wayfinding en van het effect van sociaal onderling gedrag op het zelfredzame gedrag bij brand. Daarnaast is er meer onderzoek nodig op gebied van brandveiligheidspsychonomie, en in het bijzonder naar de percepties van de situatie en omgeving en naar de intenties en motieven voor gedrag.

7 Validatie van de serious game ADMS-BART

7.1 Synopsis

De nieuwe onderzoeksmethode waarin gebruik gemaakt wordt van serious gaming is ontwikkeld om inzicht te verkrijgen in evacuatiegedrag en in het effect van het gebouwontwerp op dat evacuatiegedrag, en in het bijzonder op wayfinding. Om op betrouwbare wijze gebruik te maken van de nieuwe onderzoeksmethode is het gevalideerd door de resultaten uit de testen in het virtuele hotel in de serious game ADMS-BART te vergelijken met dezelfde type testen in het echte hotel. Geen van de deelnemers die aan de testen in het echte hotel hebben meegedaan waren betrokken bij het ADMS-BART experiment.

In totaal waren 153 testen in drie scenario's succesvol voor de validatie analyse, namelijk 83 testen in het echte hotel en 70 testen in het virtuele hotel. In elk afzonderlijke testscenario, zowel in het echte als in het virtuele hotel, deden ten minste 20 personen mee. Om ADMS-BART te valideren zijn de resultaten uit de basis, rook en gereduceerd verlichting scenario's in het echte hotel vergeleken met de resultaten uit dezelfde scenario's in het virtuele hotel. In de validatie studie is geanalyseerd in welke mate de resultaten met elkaar overeenkwamen. De resultaten bestonden uit een combinatie van bepaalde belangrijke acties, een

bepaalde uitgangkeuze (hoofduitgang, dichtstbijzijnde nooduitgang of een andere uitgang) en een bepaalde routekeuze (totale lengte van de gekozen route) per scenario. Andere resultaten die onderzocht zijn betreffen onder andere de verplaatsingstijd en de motivaties voor het gedrag van de deelnemers.

De validatie studie bestond uit vier validatie stappen:

- Stap 1: Analyse van mogelijke verschillen in de testgroep
- Stap 2: Analyse van de absolute validiteit
- Stap 3: Analyse van de relatieve validiteit
- Stap 4: Analyse van de mogelijke invloed van het niveau van spelvaardigheid op de testresultaten

Om het gebruik van ADMS-BART voor toekomstige experimenten te rechtvaardigen, wordt de relatieve validatie (stap 3) belangrijker geacht dan de absolute validatie (stap 2). De processen van relatieve en absolute validatie zijn voor elk van de drie scenario's (basis scenario, rook scenario, lage bordjes scenario) afzonderlijk uitgevoerd.

7.2 Conclusies en aanbeveling uit de validatie analyse

Conclusie 22: ADMS-BART is niet bedoeld als instrument voor onderzoek naar de loopsnelheid tijdens een brandevacuatie, aangezien de gemeten loopsnelheid in de virtuele omgeving gebaseerd is op vier vaste loopsnelheden (rennen, lopen, kruipen en staan).

Conclusie 23: De toepassing van ADMS-BART als onderzoeksinstrument voor kan als valide worden beschouwd voor onderzoek naar het wayfinding-gedrag in een situatie zonder rook en voor onderzoek naar de invloed van rook op wayfinding in geval van een brandevacuatie.

Er is geen reden om aan te nemen dat het effect van rook verschilt in de virtuele en echte omgeving. Wel is er een aanwijzing dat het effect van vluchtrouteaanduidingen verschillend is in de virtuele en echte omgeving. Dit verschil is waarschijnlijk veroorzaakt door een inconsistentie in het 'lage bordjes scenario', aangezien een verschil is gevonden in uitgangskeuzes tussen de twee testomgevingen. In de virtuele omgeving wijkt het af van de aanname dat als de vluchtrouteaanduidingen op vloerniveau zijn geplaatst (lage

bordjes scenario) meer deelnemers via de dichtstbijzijnde nooduitgang zullen vluchten dan wanneer de vluchtroute-aanduidingen op plafondniveau zijn geplaatst (rook scenario).

Aanbeveling 23: Om de validiteit van ADMS-BART te aan te tonen wordt aanbevolen om de testen met de serious game in het 'lage bordjes scenario' opnieuw uit te voeren. Wanneer de resultaten van deze opnieuw uitgevoerde testen worden geanalyseerd is het de aanbeveling om speciale aandacht te schenken aan de analyse van de invloeden van de vier variabelen in motivaties en perceptie van deelnemers, die een correlatie hadden met de uitgangkeuze in de echte omgeving, maar niet in de virtuele omgeving, te weten:

- Overweging van de veiligste route
- Wel of geen gebruik van vluchtrouteaanduidingen
- Eerdere inspectie van de vluchtroute
- Gevoel van een noodsituatie

Conclusie 24: ADMS-BART kan als geschikt worden beschouwd voor deelnemers met een hoog spelvaardigheidniveau, alsook voor deelnemers met een laag spelvaardigheidniveau.

Conclusie 25: Het is evident dat praktijkonderzoek in de virtuele omgeving van ADMS-BART voor deelnemers overtuigender is dan het praktijkonderzoek in een echte omgeving, aangezien enkele belangrijke emoties, namelijk het gevoel van nood, het gevoel van haast en het gevoel van stress, significant sterker zijn in de testen in de virtuele omgeving in vergelijking met de testen in de echte omgeving. Bovendien is er geen reden om aan te nemen dat de gedragingen in de virtuele omgeving optimistischer zouden zijn dan de gedragingen in de echte omgeving.

To provide policy measures for a safe escape in the event of a fire, clear and extensive knowledge about human behaviour in fire is essential. This implies a need for further knowledge of the interaction between surrounding factors (fire situation, building design, social factors) and occupants' fire response performance (FRP). A new research method has been developed to obtain the required insight into human behaviour in fire evacuation. The new research method consists of an analysis model (FRP model) and a virtual environment, the serious game ADMS-BART: the *Behavioural Assessment and Research Tool* (BART) in the *Advanced Disaster Management Simulator* (ADMS).

In this publication an introduction of the new research method is presented, as well as the results of the validation of the use of ADMS-BART as a research tool. Furthermore, an overview of existing literature on human behaviour is given. In addition, new findings on fire safety psychonomics are presented. The new findings are gained from a case study (football stadium fire, 2008) and from an experimental study in a real hotel, as well as in a virtual replica of the hotel. The studies were focused on the influence of human factors, building factors and fire factors on fire response performance, and on the wayfinding performance in particular.

