

# **Verskillende vluchtwegsignalering technieken geëvalueerd op toepasbaarheid en efficiëntie bij brand.**

Tom de Jong

Juni 2015

VU Amsterdam

begeleider: Prof. J. Treur

## **Abstract**

De huidige verplichte vluchtrouteaanduiding wordt vaak over het hoofd gezien en is bij rookvorming slecht waarneembaar. Wetenschappelijk onderzoek biedt verschillende methodieken en technieken aan om het vluchtproces te verbeteren. Een aantal technieken worden in dit onderzoek besproken, er wordt onderscheid gemaakt tussen statische, actieve en dynamische vluchtroutesignalering. De verschillende technieken worden geëvalueerd op basis van toepasbaarheid en efficiëntie. Er wordt geconcludeerd dat actieve systemen, systemen die actief worden wanneer een calamiteit geconstateerd is, de zichtbaarheid van de vluchtwegsignalering verdubbelen, terwijl deze vanwege eenvoudige inbouw en beperkte investering goed toepasbaar zijn in de bestaande gebouwvoorraad. Een dynamisch systeem is kostbaarder en installatie intensiever omdat het gebruik maakt van meerdere sensoren en actoren. Een dynamisch systeem biedt echter de veiligste vluchtweg, omdat de vluchtroute wordt aangepast op basis van de door het systeem vastgestelde brand- en of rookontwikkeling.

## **Introductie**

Er is veel onderzoek gedaan naar het vluchtgedrag van personen. Hierbij is gekeken naar verschillende aspecten van het vluchtgedrag, zoals sociale factoren, layout van het gebouw, verschillende modelleermethodes om het vluchtgedrag in kaart te brengen en verschillende technieken om het vluchtproces te bevorderen.

Op dit moment is in gebouwen van een bepaalde omvang en/of bestemming een vluchtrouteaanduiding verplicht die voldoet aan de normen van de Europese regelgeving zoals beschreven in de NEN-EN ISO7010. Deze norm schrijft kleur, soort pictogrammen en plaats van de vluchtrouteaanduiding voor. Uit onderzoek is gebleken dat deze aanduidingen vaak onvoldoende zijn voor optimaal vluchtgedrag. De aanduidingen worden vaak genegeerd doordat mensen vluchten via een bekende weg en een betere vluchtroute negeren [1]. Uit het onderzoek blijkt dat slechts 38% van de aanwezige personen, die onbekend waren met de indeling van het gebouw daadwerkelijk de signalering ontdekten. Van degenen die de signalering wel gezien hebben, gebruikt 97% de informatie om een route te vinden [2]. De in de NEN-EN ISO7010 voorgeschreven signalering bevindt zich bijna zonder uitzondering boven in de ruimte. De constatering van een signalering die fysiek zichtbaar is, wordt beïnvloed door de aandacht van een persoon voor de signalering en de kennis van het gebouw van de persoon. Of personen de informatie van de signalering daadwerkelijk volgen is afhankelijk van cognitieve factoren als de interpretatie van de gegevens en psychologische factoren zoals of de personen de informatie geloven [2].

De in de NEN-EN ISO7010 voorgeschreven signalering is een statisch systeem. Dat wil zeggen dat de signalering altijd aanwezig is, ongeacht of er een calamiteit is. In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen statische, actieve en dynamische signalering. Inmiddels zijn er een aantal actieve systemen ontworpen die ten tijde van een calamiteit een signaal afgeven. Een dynamisch systeem is een systeem dat vluchtroute advies geeft op basis van de plaats van de calamiteit. Dynamische systemen zijn altijd actief. Op dit moment zijn er veel technische ontwikkelingen op het gebied van veilig vluchten. Met name actieve en dynamische systemen zijn in ontwikkeling.

Dit onderzoek weegt verschillende technieken/methodieken af tegen bestaand wetenschappelijk onderzoek naar het vluchtgedrag en de beïnvloeding van dat vluchtgedrag van personen. De verschillende technieken die worden besproken in dit onderzoek, worden geëvalueerd op basis van de voor- en nadelen van de technieken. Zo wordt er gekeken naar effectiviteit en toepasbaarheid van een systeem. Met de effectiviteit wordt de mate waarin de evacuatietechniek het vluchtproces positief verbetert bedoeld. Voor de toepasbaarheid wordt er gekeken naar de

moeilijkheidsgraad van de installatie van het systeem, in relatie tot de te verwachten kosten. Eerst wordt er gekeken naar het vluchtproces zelf, om meer inzicht te krijgen over de factoren die met het vluchtproces te maken hebben. Daarna naar de branddetectie omdat dit belangrijk is als eerste stap om het vluchtproces in gang te krijgen.

### **Het vluchtproces**

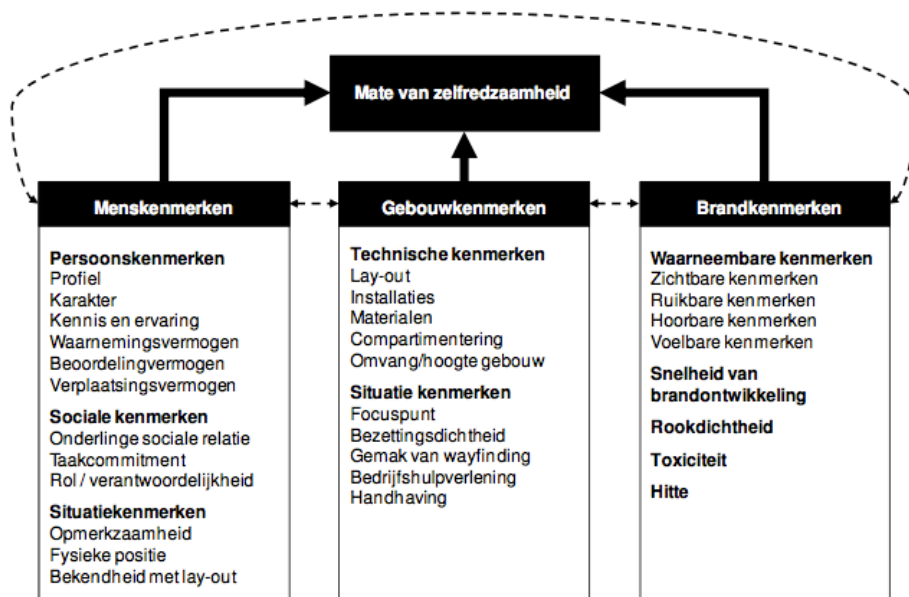
Eerst is het belangrijk om inzicht te krijgen in de manier waarop mensen vluchten en welke factoren hiermee te maken hebben, om te bepalen wat voor een soort technieken er nodig zijn om het vluchtproces te verbeteren. Het vluchtproces bestaat uit drie fases [3]:

1. Bewustwording van het gevaar door externe stimuli,
2. Validatie en reactie op gevaarsignalen (besluitvorming),
3. Verplaatsing naar veilige omgeving

Mensen hebben een laag niveau van bewustwording in relatie tot gevaar. Een alarm wordt niet altijd serieus genomen, dit kan onder andere liggen aan het aantal valse alarmen die men meegemaakt heeft [4]. Mensen lijken er last van te hebben gevarensignalen op de juiste waarde in te schatten. De meest fatale branden treden op gedurende de nacht, wanneer mensen slapen. Als mensen slapen, of net wakker worden hebben zij een verlaagd bewustzijnsniveau. Vooral ouderen hebben een hogere geluidsintensiteit nodig om bewust te worden van het alarm [5].

Bij de besluitvorming spelen een aantal factoren een rol. Zoals sociale factoren, mensen hebben bijvoorbeeld de neiging om andere personen te volgen. Ook het gedrag van andere personen kan van invloed zijn (leidersrol). Andere factoren kunnen zijn het ontwerp van het gebouw en de omgevingsfactoren, bijvoorbeeld waar de brand zich bevindt en de aanwezigheid van rookvorming.

Er zijn veel factoren die de verplaatsing naar een veilige omgeving beïnvloeden. Zoals signalering, stress, kennis van het gebouw, tijdsdruk, kenmerken van het gebouw, alleen of in een groep, leeftijd en functionaliteit van de bewoners. Dit soort factoren beïnvloeden ook de mate van zelfredzaamheid bij brand Fig(1). ‘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’ [6].



Figuur 1: verschillende kenmerken voor de mate van zelfredzaamheid

De mate van zelfredzaamheid wordt bepaald door drie kenmerken: mens, gebouw en brand. In dit onderzoek wordt er vooral gefocust op technieken die te maken hebben met de menskenmerken, de psychonomie. Dit heeft te maken met de interactie van tussen de omgeving en het gedrag van mensen in deze omgeving [3].

Er kan bij de verschillende fases van het vluchtproces verbetering tot stand gebracht worden door technieken toe te passen om de waarneming, bewustwording en verplaatsing beter te laten verlopen. Door middel van actieve technieken met geluid en/of licht kan al een hoop verbeterd worden aan het vluchtproces. Daarnaast wordt er ook gekeken naar meer 'intelligente' dynamische technieken om het evacuatieproces te verbeteren..

De technische eisen die op dit moment door de Nederlandse wet, beschreven in het Bouwbesluit, aan het vluchtproces gesteld worden staan in de volgende normen[7]:

**NEN 2575: Brandveiligheid van gebouwen - Ontruimingsalarminstallaties - Systeem- en kwaliteitseisen en projecteringsrichtlijnen.**

NEN 2575 geeft eisen voor het ontwerp, de uitvoering, de compatibiliteit en de kwaliteit van ontruimingsalarminstallaties die zijn bedoeld om in geval van brand of andere noodsituaties een snelle en goede ontruiming van een gebouw en/of buitenruimte uit te voeren. De norm gaat in op verschillende ontruimingsalarminstallaties, zoals o.a. stilalarm en luidalarm.

## **Branddetectie**

Om bewust te worden van een brand en daardoor het vluchtproces in te zetten is het belangrijk om te weten of er daadwerkelijk een brand is en wat de locatie is van die brand. De eisen aan branddetectiesystemen is beschreven in verschillende normen. Hierin worden de lay-out, eisen aan componenten, onderhoud en controle vastgelegd. De volgende normen zijn van toepassing, deze worden aangestuurd door het Bouwbesluit [7]:

**NEN 2535:** *Brandveiligheid van gebouwen - Brandmeldinstallaties - Systeem- en kwaliteitseisen en projectierichtlijnen.*

NEN 2535: geeft regels voor het ontwerp, de uitvoering, de compatibiliteit en de kwaliteit van het te installeren brandmeldsysteem.

**NEN 2555:** *Brandveiligheid van gebouwen - Rookmelders voor woonfuncties.*

In NEN 2555: staan de eisen voor rookmelders in woonfuncties. Ook zijn de voorschriften gegeven om de rookmelders op een juiste wijze in een ruimte te plaatsen en te monteren. De norm is uitsluitend bedoeld voor rookmelders die individueel of aan elkaar gekoppeld moeten functioneren. Voor systemen met rookmelders en ontruimingssignaalgevers zijn o.a. NEN 2535 en NEN 2575 van toepassing.

**NEN 2654:** *Beheer, controle en onderhoud van brandbeveiligingsinstallaties.*

Een brandmeldinstallatie kan alleen effectief blijven functioneren wanneer het beheer, de controle en het onderhoud van de installatie op de juiste wijze plaatsvindt. NEN 2654 geeft de nodige aanwijzingen en eisen die in dit verband moeten worden aangehouden.

**NEN-EN 54:** *Automatische brandmeldinstallaties.*

De NEN-EN 54 productnormserie is van toepassing op brandmeldsystemen in en om gebouwen, gemaakt van verschillende onderdelen die communiceren met als doel het detecteren van brand op het vroegst mogelijke moment. Bovendien om alarm te kunnen slaan, zowel lokaal als bij beheerinstanties. Bij brandalarm kan ook signaal worden gegeven aan andere brandmeldsystemen om af en/of uit te gaan. De normserie bestaan uit circa 20 delen.

Er zijn verschillende merken brandmeldinstallaties op de markt die aan deze normen voldoen. Tijdens de melding van rook of brand is een branddetectieinstallatie altijd actief. De installatie waarschuwt in eerste aanleg met behulp van geluidssignalen.

Om mensen met een gehoorbeperking bewust van een alarm te laten worden, kan het geluidsalarm worden uitgebreid met licht- en trillingsignalen [4].

## Signalering

De signalering is het onderdeel van het systeem dat moet zorgen voor een veilige vluchtweg ten tijde van een calamiteit, na de alarmering. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen statische, actieve en dynamische signalering.

### Statische signalering

Op dit moment wordt door het Bouwbesluit alleen statische signalering voorgeschreven. Hiervoor wordt de Europese norm NEN-EN-ISO 7010 gehanteerd.

### **NEN-EN-ISO 7010: Symbols**

De NEN-EN-ISO 7010 beschrijft veiligheidssymbolen met het oog op preventie van ongevallen, brandbeveiliging, informatie over gezondheidsrisico's en noodevacuatie. De vorm en de kleur van elk grafisch symbool zijn volgens ISO 3864-1 en het ontwerp van de grafische symbolen is volgens ISO 3864-3. Deze internationale norm is van toepassing op alle locaties waar veiligheidsvraagstukken in verband met mensen moeten worden aangepakt.



*Figuur 2: huidige vluchtsignalering*

De in deze norm voorgeschreven signalering bestaat vooral uit pictogrammen Fig(2) die op een door de norm voorgeschreven plaats moeten worden aangebracht. Vaak worden deze pictogrammen gecombineerd met noodverlichting. Deze signalering wordt bijna zonder uitzondering nabij het plafond geplaatst. Rookvorming ontwikkelt zich doorgaans via het plafond, hierdoor wordt het zicht op de bestaande signalering snel ontnomen. Uit onderzoek blijkt dat het plaatsen van de signalering nabij de vloer, verbeteringen oplevert [8], omdat bij rookvorming signaleringen nabij de vloer beter te zien zijn.

Deze signalering kan worden aangemerkt als statisch omdat deze permanent op dezelfde plaats aanwezig is, ongeacht of er een calamiteit is. Deze signalering is daarmee onderdeel van 'het meubilair' en heeft daarmee geen aparte status tijdens het optreden van een calamiteit. Een andere techniek die valt onder de statische signalering is Fotoluminescentie. Fotoluminescentie maakt gebruik van het principe van fosforescentie (glow in the dark). De energie van aanwezige lichtbronnen wordt ingezet om de gefosforesceerde laag te activeren. Wanneer het donker wordt, wordt de energie weer vrij gelaten in de vorm van licht. Componenten die gebruik maken van fotoluminescentie geven een geel/groen licht, de componenten kunnen worden ingezet voor het aangeven van bijvoorbeeld een nooduitgang of vluchtroute. Het voordeel van fotoluminescentie is dat het geen energie verbruikt en makkelijk aan te brengen is. Uit onderzoek [9] is gebleken dat fotoluminescentie een positief effect heeft bij de wayfinding van een persoon in een gebouw. Een nadeel is dat de helderheid van fotoluminescentie niet zo hoog is als van andere verlichting.

### **Actieve signalering**

Actieve signalering wordt momenteel niet aangestuurd door het Bouwbesluit. De ontwikkelingen op dit gebied zijn een private poging om de vluchtveiligheid te verbeteren. Kenmerk van actieve signalering is dat deze tijdens de calamiteit in werking treedt. Met als doelstelling om op het juiste moment extra aandacht te vestigen op de vluchtweg. Er wordt een onderscheidt gemaakt tussen de volgende technieken: geluid en licht.

### **Geluid**

Uit onderzoek is gebleken dat mensen een alarm meer serieus nemen wanneer na het eerste alarm een gesproken bericht over de speakers volgt [4]. Hierdoor wordt de ernst van de situatie meer serieus genomen. Het is uiteraard van belang om een speakersysteem te hebben dat gesproken berichten aankan en dat door het hele gebouw gehoord kan worden. In het gesproken bericht moet het woord 'brand' voorkomen zo wordt het bericht beter begrepen en voorkomt het misverstanden over het gesproken bericht. Het maakt geen significant verschil of de tekst door een mens of een computer is ingesproken [10].

Om de bewustwording van het gevaar te verbeteren van mensen met verminderd bewustzijn (zoals bejaarden), is het beter om een alarmsysteem in de kamers van bewoners te plaatsen in plaats van op de gang waardoor de bewoners het alarm beter kunnen horen.

Gericht op de evacuatie is er een techniek ontwikkeld waarbij een persoon precies kan horen van welke richting een geluid vandaan komt [11], deze techniek kan worden toegepast om een nooduitgang aan te geven. Wanneer een gebouw in brand staat, is er vaak een hoop rook of is de verlichting uitgevallen, hierdoor kan een routeaanduiding misschien niet meer gezien worden. Wanneer een route wordt aangegeven met geluid, kan er met slecht zicht alsnog goed genavigeerd worden, dit geldt ook voor mensen met een visuele beperking. De techniek werkt met directioneel geluid dit is een breedband ruis, hiermee kan het brein precies verwerken waar dat geluid vandaan komt. Geluiden zoals een piep kan moeilijk worden gelokaliseerd. Breedband ruis is bijvoorbeeld het geluid van een waterval of een stromende rivier.

### **Licht**

Mensen in een noodsituatie hebben de drang om naar een deur toe te gaan. Dit is een probleem als de deur niet naar een uitgang leidt, het is daarom belangrijk om een uitgang goed zichtbaar te maken en gemarkeerd als uitgang [8]. Wanneer er bijvoorbeeld lampen om de uitgang zijn aangebracht, wordt de uitgang goed zichtbaar. Uit onderzoek [12] blijkt dat flitsende lichten helpen bij het kiezen van een uitgang. De kleur van het licht werkt het best als deze groen is omdat deze kleur met positieve dingen wordt geassocieerd zoals veiligheid, echter rood/groen kleurenblindheid is de meest voorkomende kleurenblindheid [13].

Interactie met een vluchtroute aanduiding verbetert de vaardigheid bij het vinden van een route, het is belangrijk bij deze interactie dat een persoon het vermogen heeft om een vluchtrouteaanduiding op te merken [13]. Het is dus belangrijk dat de vluchtrouteaanduiding opvalt voor een persoon. Er zijn verschillende bedrijven die technieken op de markt brengen rondom evacuatieverlichting. Waarbij ook de vluchtroutesignalering wordt gecombineerd met de noodverlichting. Dit soort pulserende evacuatieverlichting kan het vluchtproces versnellen omdat de vluchtroute een stuk beter opvalt vergeleken met de huidige vluchtrouteaanduiding

Het is belangrijk om de simpliciteit en duidelijkheid van een signalering te behouden. Galea, Xie, en Lawrence [14] hebben onderzoek gedaan naar het actief maken van een statische signalering, waarbij het formaat en de informatie van de signalering hetzelfde blijven (signalering nabij het plafond). De signalering wordt actief gemaakt door knipperende lichten in de pijl aan te laten gaan wanneer er een noodsituatie is Fig(3). Uit het onderzoek blijkt dat een significante meerderheid (80-90%) bevestigt dat de knipperende lichten geholpen hebben bij het nemen van een snelle beslissing en het bevestigen van deze beslissing. De actieve signalering verbetert



de effectiviteit van de nooduitgang bordjes omdat de juiste route makkelijker op te merken is [15].



*Figuur 3: actieve vluchtroutesignalering*

Als actieve vluchtroutesignalering wordt gecombineerd met het aanbrengen van deze signalering nabij de vloer [8] is de verwachting dat het totaal resultaat verder zal verbeteren. Er zijn (nog) geen onderzoekcijfers beschikbaar om dit aan te tonen.

### **Dynamische signalering**

Verstrekken van nuttige informatie over de dichtstbijzijnde plaats en route die veilig zijn, is een hulpmiddel om op een veilige manier te kunnen vluchten. Bij een statisch of actief systeem wordt geen rekening gehouden met de plaats van een calamiteit in een gebouw; hierdoor kan een evacuatieplan de aanwezige personen juist naar een gevaar toe leiden of kunnen vluchtwegen overbelast raken, waardoor vertragingen kunnen ontstaan [16]. Een dynamisch systeem probeert te garanderen dat iedere persoon kan ontsnappen vanuit zijn/haar locatie. De kenmerken van een persoon zijn hierbij belangrijk. Het is cruciaal om rekening te houden met personen met een beperking [17]. Hierbij kunnen intelligente (dynamische) evacuatiesystemen goed helpen.

Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op het vaststellen van een optimale vluchtroute. Zoals de bijzonderheden van het incident, de werkelijke toestand van het gebouw, de toestand en de locaties van de inzittende [18]. Bijvoorbeeld kan een standaardvluchtroute geblokkeerd zijn door een brand. Om een optimale vluchtroute te krijgen is het mogelijk om een dynamisch evacuatieplan te implementeren. Er zijn verschillende methoden die gebruikt kunnen worden om een intelligente evacuatie te realiseren, dit verschilt vooral in de soort aanvullende sensoren (aanvullend op de voorgeschreven brand- en rookmelders) die gebruikt worden om bijvoorbeeld de locatie van de brand te bepalen en de manier van het overbrengen van de informatie (signalering).

De verschillende methoden:

Willem: a Wireless InLLigent Evacuation Method [18].

Smart Signs [19].

iSpace: Intelligent Space [20].

Dynamische signalering: E.R. Galea [15].

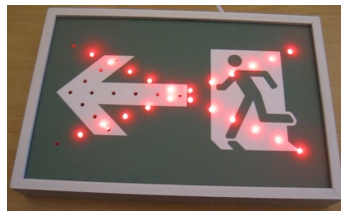
RescueMe: gebruik van mobiele apparaten [21] .

Willem is een systeem die opgebouwd is uit verschillende componenten. Het systeem heeft twee fases: de installatie en de evacuatie. De installatie bestaat uit het plaatsen en het configureren van de sensoren. Het gaat om rooksensoren die in staat zijn de vluchtroute aan te duiden. De sensoren moet geplaatst worden op elke punt waar drie gangen bij elkaar komen en boven elke uitgang. De sensoren die boven een uitgang zijn geplaatst moeten van zichzelf weten dat ze een uitgang zijn, de sensoren mogen ook niet te ver van elkaar verwijderd zijn. De configuratie van het systeem wordt automatisch gedaan op grond van de beweging van de personen in het gebouw. De inzittenden moeten allemaal een RFID-tag dragen, deze 'tag' communiceert met de sensoren. Zo kunnen de sensoren de afstand meten van de omliggende sensoren. Voor de evacuatie gebruiken de sensoren een 'gradient-descent' leeralgoritme om de dichtstbijzijnde uitgang te berekenen. Met de meest geavanceerde methode van het systeem is het mogelijk om wanneer er teveel mensen bij een uitgang zijn een andere route aan te geven zodat een opstopping wordt voorkomen. Er kan ook een virtuele map doorgestuurd kan worden naar reddingswerkers zodat zij precies kunnen zien waar er problemen zijn. Het kan echter wel lastig zijn om een heel gebouw met meerdere verdiepingen in kaart te brengen. Uit experimenten blijkt dat het dynamische aspect van het herberekenen van een route leidt tot meer verstopping op andere plekken [18].

Met Smart Signs wordt er gebruik gemaakt van een scherm waar een routeaanduiding is op afgebeeld met een groepsbericht. Voor mensen met bijvoorbeeld een handicap wordt er ook een persoonlijk bericht geplaatst, omdat iemand in een rolstoel een andere vluchtroute moet gebruiken. Ook bij Smart Signs wordt een tag gebruikt om te communiceren met de omliggende apparaten. Zo wordt iemands persoonlijke route afgebeeld als de persoon in de buurt is van een scherm. Smart Signs richt zich ook op de privacy van de gebruiker. Zo worden de locaties van de gebruikers niet opgeslagen of alleen gebruikt bij de communicatie met de apparaten. Het systeem biedt ook de mogelijkheid aan om de routeaanduiding via een draagbaar apparaat te krijgen, bijvoorbeeld via een mobiele telefoon [19].

iSpace maakt gebruik van camera's, microfoons en fysieke sensoren, om informatie over te brengen naar de gebruikers maakt het systeem gebruik van beeldschermen, speakers, robots en haptische waarneming. Haptische waarneming is een technologie dat door middel van bewegingen (bijvoorbeeld vibraties) communiceert met de gebruiker. De camera's worden gebruikt om een brand te detecteren, dit werkt sneller dan rook of gas sensoren omdat er met licht geen vertraging is zo kan er gelijk worden geconstateerd of er een brand is. Als het systeem er niet zeker van is of er een brand is heeft het twee mogelijkheden, iemand er op afsturen om de brand te bevestigen. Wanneer er niemand 'actief' in de buurt is, kan er een robot op worden afgestuurd die door middel van beeld of temperatuur een brand kan bevestigen. Het artikel over iSpace noemt dat er verschillende manieren zijn om mensen via de snelste/veiligste te begeleiden, zoals via beeldschermen, speakers of robots. Het systeem kan de beste route bepalen door te kijken naar welke locaties toegankelijk zijn en daaruit de kortste route te pakken [19].

Als voorbereiding van het eerder genoemde actieve systeem van Galea e.a. [15] wordt het dynamisch gemaakt door een 'decision engine', die door middel van gebouwsimulatie software (EXODUS) de optimale route berekent en dit weergeeft in de signalering. Wanneer een vluchtroute bijvoorbeeld niet meer veilig is, worden de signaleringbordjes met een rood kruis van lichtpuntjes aangegeven Fig(4). Galea e.a. maken gebruik van de standaardbrandmeldinstallatie [15].



*Figuur 4: dynamische signalering, route niet toegankelijk*

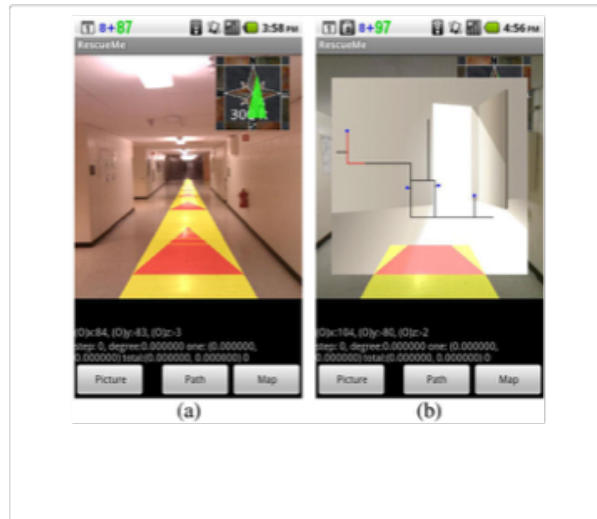
Om een goede dynamische evacuatie route te berekenen moet er een geavanceerde zoekalgoritme ontwikkeld worden die al de onderstaande factoren in overweging neemt. Deze factoren zijn [16]:

- Status van de schade: plaatsen waar bijvoorbeeld brand is, moeten vermeden worden.
- Toxiciteitstatus: plaatsen waar giftige gassen of rook zijn moeten vermeden worden.
- Stroomstatus: plaatsen waar de stroom is uitgevallen moeten niet in de evacuatie route zitten.

- Capaciteit van de route: bijvoorbeeld te veel mensen in een smalle gang zorgt voor problemen.
- Populatie dichtheid: wanneer er een hoge populatiedichtheid is, zullen mensen zich minder snel verplaatsen.
- Leeftijd en geslacht: dit heeft te maken met de loopsnelheid van een persoon.
- Level van handicap: dit is een belangrijke factor in bijvoorbeeld ziekenhuizen of verzorgingstehuizen.
- Soort terrein: op een trap zullen mensen langzamer bewegen.

Om mensen te begeleiden bij het kiezen van de juiste vluchtroute is het een optie om te kiezen voor een mobiel apparaat als actor. Een 2D map of 3D route kan worden gebruikt op een telefoon om overzicht te krijgen waarheen iemand moet vluchten Fig(5). Wanneer een mobiel apparaat in verbinding staat met een 'intelligent' systeem kan, wanneer de situatie verandert, een andere route op het mobiel apparaat aangegeven worden. Uit onderzoek [22] blijkt dat een mobiel apparaat helpt bij het navigeren in vergelijking tot de beperkingen van vaste schermen met routeaanduidingen. Ook blijkt dat een merendeel vertrouwt op de informatie die een mobiel geeft, echter de gebruikers zijn wel gefixeerd op het mobiele apparaat en zien minder van hun omgeving zoals vaste routeaanduidingen.

Met de techniek RescueMe wordt er gebruik gemaakt van bestaande smartphones om de locatie te bepalen van de gebruikers. Hiermee wordt tijdens een noodsituatie een optimale vluchtroute geven op de telefoon van de gebruiker. Het systeem berekent per individu de snelste vluchtweg. Het is belangrijk voor het systeem dat het precies weet waar de gebruiker zich bevindt er wordt niet alleen gebruik gemaakt van het lokaliseren via internet maar ook doormiddel van beelden. Er van uit gaand dat het systeem de map van de omgeving herkent, kan een foto gemaakt worden van bijvoorbeeld een kamernummer zodat het systeem weet waar een persoon zich bevindt. Met behulp van een pedometer (stappenteller) en een gebruikers gebruikelijke looppatronen wordt via een leeralgoritme precies bepaald wat de locatie is van de gebruiker. Deze informatie wordt doorgestuurd naar de server van het systeem die de kortste/snelste pad voor de gebruiker berekent, hier wordt ook de loopsnelheid van andere gebruikers gebruikt om een drukke uitgang te vermijden. RescueMe is nog niet getest in een echte situatie met een brand [21].



*Figuur 5: een 3D en 2D weergaven van RescueMe*

### Evacuatie met een robot

Aangezien de techniek van de robotica snel aan het ontwikkelen is, is het geen gek idee dat robots worden ingezet om te helpen bij een evacuatieproces. Een robot die kijkt of er daadwerkelijk een brand is (iSpace), een robot die een geluidsbaken uitzendt zodat mensen dit geluid kunnen volgen om een uitgang te vinden [23]. Het is in sommige situaties beter om een robot in te schakelen omdat het niet erg is als een robot verloren gaat. De vraag is of mensen een robot genoeg vertrouwen en zich laten leiden door de robot. Uit onderzoek [24] blijkt dat op dit moment slechts één op de drie personen een robot volgden in een noodsituatie. Dit geeft dat mensen op dit moment nog niet toe zijn aan een dergelijke vluchtassistentie.

### **Evaluatie van de technieken**

Om alle technieken goed te kunnen evalueren, wordt er gekeken naar voor en nadelen van een systeem. Er wordt gekeken naar effectiviteit, toepasbaarheid (installatie voor een nieuw of bestaand gebouw).

### Statische signalering

Een aanvulling op de statische signalering kan zijn fotoluminescentie; het is eenvoudig aan te brengen in een bestaande situatie en levert extra routeinformatie op bij weinig licht. Onderzoek leert dat één derde van de testgebruikers de lichtopbrengst te laag vonden.

### Actieve signalering

Een systeem met directioneel geluid heeft een voordeel in ruimtes die volledig gevuld zijn met rook en voor mensen met een visuele beperking. Door bij evacuatie het geluid te volgen, komen de gebruikers op een veilige plek. Echter voor doven en slecht horende is het een slechte oplossing; de route moet dan nog steeds op een andere manier worden aangeduid. Het is relatief goedkoop om te installeren, omdat alleen bij elke uitgang een speaker met directioneel geluid moet zijn.

Een nooduitgang laten opvallen door middel van pulserende lichten eromheen is een effectieve en goedkope methode om een uitgang meer te laten opvallen. Het aanbrengen van de lichtbron nabij de vloer heeft een positief effect bij rookontwikkeling.

### Dynamische signalering

De dynamische signalering van Galea e.a. is een simpele methode om de huidige signalering te laten reageren op de situatie in een gebouw, wanneer bijvoorbeeld een route ontoegankelijk is door brand. Omdat het een aanpassing is aan het huidige signalering is de dynamische signalering nog steeds gemonteerd nabij het plafond, hierdoor kan de signalering minder goed opvallen bij rookvorming.

Voor de 'intelligente' systemen moeten er meer geavanceerde dus duurder sensoren, signalering en randapparatuur geplaatst worden. Ondanks dat het systeem een stuk duurder is, biedt het wel een veiligere vluchtroute omdat het systeem dynamisch is en de gebruiker niet zal leiden naar ontoegankelijke vluchtroutes. Willem maakt gebruik van een RFID-tag, dit soort sensoren worden gebruikt om GPS te vervangen. RFID-tag moeten overal in het gebouw worden geplaatst, dit is een enorme installatie om te doen in een groot gebouw. De kosten zijn voor het gebruik van een RFID-tag erg hoog, ondanks dat de RFID-tag zelf goedkoop is. De voorkeur is om gebruik te maken van internet signalen als een vervanger voor de GPS. Een voordeel van het gebruik van dit Willem is dat er een virtuele map doorgestuurd kan worden naar reddingswerkers.

Het goede van Smart Signs is dat persoonlijke kenmerken worden meegenomen in de routeplanning. Nog een voordeel is dat er wordt gefocust op privacy zodat de locatie van de gebruikers nooit uit het systeem komen. iSpace heeft een goede techniek om een brand te detecteren. Door het gebruik van camera's en een bevestiging van mens of robot, weet het systeem bijna altijd zeker wanneer er een brand is. iSpace geeft alleen geen specifieke oplossing voor het begeleiden van personen naar een veilige uitgang.

Vluchten met behulp van mobiele apparaten kan het vluchtproces bevorderen; hiervoor dienen de smartphone gebruikers een speciale app op het apparaat te installeren. Op dit moment heeft circa driekwart van de Nederlanders een smartphone [25] het is onbekend hoeveel gebruikers bereid zijn een app te installeren. Een systeem als RescueMe is bovendien nog niet getest in de realiteit.

Vluchten met behulp van robots is op dit moment nog niet aan de orde omdat mensen een robot nog onvoldoende vertrouwen. Er zijn in de toekomst zeker perspectieven voor deze vorm van vluchtassistentie.

In het kort waar een dynamisch systeem aan moet voldoen:

- dynamisch systeem moet een geavanceerd zoekalgoritme hebben die de eerder genoemde factoren in overgang neemt zoals status van stroom, toxiciteit, schade en persoonlijke kenmerken.
- Het systeem moet niet nabij het plafond gemonteerd worden zodat tijdens rookvorming zichtbaar blijft, een goede manier om de informatie over te brengen is bijvoorbeeld, door middel van televisie schermen eerder genoemd bij Smart Signs.
- De privacy van de gebruiker moet in acht worden genomen.

### **Toepasbaarheid**

In alle gebouwen, zoals aangewezen door het Bouwbesluit is statische signalering conform de NEN-EN ISO7010 toegepast.

### **Bestaande gebouwen**

In bestaande gebouwen met een voorgeschreven signalering kan de vluchtveiligheid worden verbeterd met behulp van actieve signalering. Volgens het onderzoek van Galea e.a. [15] kan de kennis van de aanwezigheid van signalering van 38% naar 77% worden verhoogd door het gebruik pulserende lichtbronnen. Het aanbrengen van deze actieve signalering is redelijk eenvoudig te realiseren, tegen beperkte kosten (afgewogen tegen een dynamisch systeem). Een systeem met directioneel geluid, zal ook de attentie verbeteren, er is op dit moment geen onderzoek dat aangeeft welk percentage van de vluchtende personen reageert op directioneel geluid.

### **Nieuwe gebouwen of gebouwen die intensief worden gerenoveerd**

In deze gebouwen heeft actieve signalering hetzelfde effect, echter de kennis van een aanwezig signaleringssysteem kan worden verhoogd van 77% naar 90% door gebruik

te maken van dynamische signalering [15]. In het onderzoek waarin deze percentages zijn vastgesteld is nog geen gebruik gemaakt van lichtbronnen nabij de vloer. De kosten van het aanbrengen en onderhouden van een dynamisch systeem (uiteraard afhankelijk van de keuze van het systeem) zijn vele malen hoger dan een actief systeem. De bouwkundige consequenties (signalering in vloeren en wanden) bepalen dat het aanbrengen van een dergelijk systeem pas rendabel wordt bij nieuwbouw of intensieve renovatie.

## **Conclusie**

Voor de bewustwording van het gevaar is de bestaande/voorgeschreven alarminstallatie, met rookmelders en/of slow-whoops afdoende geregeld.

Bij alarmering kan de bewustwording van het gevaar, maar zeker de besluitvorming om tot vluchten over te gaan, sterk worden verbeterd door gesproken ontruimingsberichten te gebruiken.

Voor een optimaal vluchtgedrag levert dynamische signalering de beste resultaten op. Vanwege de impact van de inbouw en de installatiekosten zijn dergelijke systemen voorbehouden aan nieuwbouw en ingrijpende renovatie. Deze systemen kunnen dus slechts in een laag tempo worden geïmplementeerd in een gebouwde omgeving.

Actieve systemen kunnen door de beperkte investering en installatie veel sneller tot een sterk verbeterde vluchtveiligheid leiden in bestaande gebouwen.

Niet gebouw-gebonden technieken zoals gebruik van mobiele apparaten en robots zullen, kunnen juist vanwege de grote bestaande voorraad een grote vlucht nemen. Gezien het aantal initiatieven op dit gebied wordt er in onderzoek naar deze technieken veel geïnvesteerd.

Het is moeilijk om een van de technieken, die in dit onderzoek beschreven worden, aan te wijzen die het vluchtproces het meest positief beïnvloedt. Bij elk systeem is er een nadeel te vinden of is het systeem nog niet klaar voor gebruik. Het hangt er ook van af hoeveel budget er voor een gebouw beschikbaar gemaakt wordt om het vluchtproces te verbeteren. Er ontbreekt nog wetenschappelijk onderzoek naar de werking van de verschillende systemen, waardoor een uitspraak in dit stadium nog niet mogelijk is.

Met een klein budget is een actief systeem een goede keuze, de vluchtveiligheid kan redelijk eenvoudig, sterk worden verbeterd. Duidelijk is dat marktpartijen nog zoeken naar het systeem dat de beste vluchtveiligheid organiseert. Dat zal bijna zeker



een dynamisch systeem zijn. Omdat er op dit moment veel ontwikkeld wordt en de technologie snel verandert, is het van belang om met regelmaat de technieken te evalueren.

## Referenties

- [1] M. Kobes, I. Helsloot, B. De Vries, en J. Post, “Exit choice, (pre-)movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation - Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research”, *Procedia Eng.*, vol. 3, pp. 37–51, 2010.
- [2] H. Xie, L. Filippidis, E. R. Galea, D. Blackshields, en P. J. Lawrence, “Experimental analysis of the effectiveness of emergency signage and its implementation in evacuation simulation”, *Fire Mater.*, vol. 36, nr. 5–6, pp. 367–382, 2012.
- [3] M. Kobes, *Zelfredzaamheid bij brand*. Kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen, pp 50-58, 2008.
- [4] C. C. Engineer, “are when they specify fire and life safety systems The Human Factor : Building designers often forget how important the reactions of the human occupants are when they specify fire and life safety systems”, nr. 3, pp. 35–36, 2002.
- [5] D. Bruck, “The who, what, where and why of waking to fire alarms: A review”, *Fire Saf. J.*, vol. 36, nr. 7, pp. 623–639, 2001.
- [6] M. Kobes, I. Helsloot, B. de Vries, en J. G. Post, “Building safety and human behaviour in fire: A literature review”, *Fire Saf. J.*, vol. 45, nr. 1, pp. 1–11, 2010.
- [7] <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Vakgebieden/Bouw/Brandveiligheid/Brandveiligheid-Installaties.htm>.
- [8] C. H. Tang, W. T. Wu, en C. Y. Lin, “Using virtual reality to determine how emergency signs facilitate way-finding”, *Appl. Ergon.*, vol. 40, nr. 4, pp. 722–730, 2009.
- [9] G. Proulx, B. Kyle, en J. Creak, “Effectiveness of a photoluminescent wayguidance system”, *Fire Technol.*, vol. 36, nr. 4, pp. 236–248, 2000.
- [10] “Design of Voice Alarms—the Benefit of Mentioning Fire and the Use of a Synthetic Voice.” .
- [11] D. Withington, “The Use of Directional Sound to Aid Aircraft Evacuation”, *Sch. Biomed. Sci. Univ. Leeds, LS2 9NQ, U.K. Sound Alert Technol. plc*.

- [12] D. Nilsson, *Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights*. 2009.
- [13] S. S. Deeb, “The molecular basis of variation in human color vision.”, *Clin. Genet.*, vol. 67, nr. 5, pp. 369–77, mei 2005.
- [14] L. Filippidis, E. R. Galea, S. Gwynne, en P. Lawrence, “Representing the influence of signage on evacuation behavior within an evacuation model”, vol. 16, nr. February 2006, 2006.
- [15] E. R. Galea, H. U. I. Xie, en P. J. Lawrence, “Experimental and Survey Studies on the Effectiveness of Dynamic Signage Systems”, 2014.
- [16] S. Pu en S. Zlatanova, “Evacuation route calculation of inner buildings”, *Geo-information Disaster Manag.*, pp. 1143–1161, 2005.
- [17] T. Onorati, a. Malizia, P. Diaz, en I. Aedo, “Modeling an ontology on accessible evacuation routes for emergencies”, *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, nr. 16, pp. 7124–7134, 2014.
- [18] W. H. Van Willigen, R. M. Neef, en A. Van Lieburg, “W ILLEM : a Wireless InteLLigent Evacuation Method.”
- [19] S. Signs, “Smart Signs Inter-Actief”, 2007.
- [20] P. Podržaj en H. Hashimoto, “Intelligent space as a framework for fire detection and evacuation”, *Fire Technol.*, vol. 44, nr. 1, pp. 65–76, 2008.
- [21] J. Ahn en R. Han, “An indoor augmented-reality evacuation system for the Smartphone using personalized Pedometry”, *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 2, nr. 1, p. 18, 2012.
- [22] F. Taher en K. Cheverst, “Exploring user preferences for indoor navigation support through a combination of mobile and fixed displays”, pp. 201–210, 2011.
- [23] D. a. Shell en M. J. Matarić, “Insights toward robot-assisted evacuation”, *Adv. Robot.*, vol. 19, nr. 8, pp. 797–818, 2005.
- [24] P. Robinette en A. M. Howard, “Trust in emergency evacuation robots”, *2012 IEEE Int. Symp. Safety, Secur. Rescue Robot. SSRR 2012*, 2012.
- [25] <http://www.nu.nl/tech/3605701/bijna-drie-kwart-nederlanders-heeft-smartphone.html>.