

---

# *Natuurbranden in Nederland*

---

*Een aanzet tot dieper onderzoek naar natuurbrandrisico in Nederland, volgens de formule  
Risk = Hazard \* Exposure \* Vulnerability*



Maurits van Riemsdijk  
2121395

Bachelor thesis Aarde & Economie  
28 juni 2013

Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit der Aard en Levenswetenschappen

Begeleiding:  
Niels van Manen (VU-supervisor)  
Peter Mulder (Second assessor)

## Samenvatting

---

Deze bachelor thesis is een beschrijvend onderzoek naar natuurbrandrisico in Nederland, gebaseerd op internationale literatuur. Er wordt uiteengezet hoe de formule  $Risk = Hazard * Exposure * Vulnerability$ , in Nederland gebruikt voor overstromingsrisico, geoperationaliseerd kan worden om het risico voor natuurbranden weer te geven. Het is daarnaast bedoeld als een aanzet tot dieper onderzoek naar het onderwerp, met als doel de bevindingen te kunnen testen. Er wordt gewerkt aan de hand van de volgende onderzoeksvraag: 'Hoe kan de formule  $Risk = Hazard * Exposure * Vulnerability$  worden geoperationaliseerd, om het risico op natuurbranden in Nederland het best te kunnen benaderen?'. Per term in de formule is bekeken welke parameters van invloed zijn, welke data beschikbaar zijn en zijn er suggesties gedaan voor analyses en technieken die gebruikt zouden kunnen worden. Voor de term *hazard* blijkt dat er gebruik gemaakt moet worden van statistiek en informatie van historische branden, om te achterhalen wat de kans op een brand is. Historische informatie is echter weinig tot niet openbaar beschikbaar in Nederland, waar rekening mee gehouden moet worden. Voor *exposure* moeten veel van de data gegenereerd worden door het uitvoeren van enquêtes. In dit onderzoek is alleen uitgegaan van de huidige fysieke waarden in een gebied om de term te beschrijven. Voor *vulnerability* worden scores gegeven die de hypothetische invloed van de parameters op de term weergeven. Door vervolgens *hazard* te vermenigvuldigen met *exposure* en alle waarden te standaardiseren, kunnen de termen met elkaar worden vergeleken, waardoor er een verhoogd en verlaagd risico weergegeven kan worden.

## Voorwoord

---

Naar aanleiding van een gevolgde stage, waar het leveren van een hoger detailniveau in een natuurbrandverspreidingsmodel het onderwerp was, staan natuurbranden ook in deze thesis centraal. Uiteindelijk is besloten de nadruk te leggen op het risico van natuurbranden in Nederland. Tijdens het onderzoek is hulp geboden door een aantal mensen. Ten eerste zou ik Dr. Hans de Moel graag willen bedanken voor zijn hulp en inzichten bij het analysegedeelte van dit onderzoek. Daarnaast wil ik graag Gianluca Boo, Msc student UNIGIS, bedanken voor de feedback die hij geleverd heeft. Beiden hebben ervoor gezorgd dat het schrijven van de thesis goed is verlopen. Ten slotte wil ik graag Dr. Niels van Manen, mijn eerste begeleider, bedanken voor zijn intensieve begeleiding tijdens mijn onderzoek. Hierdoor heb ik op gestructureerde wijze kunnen werken en werd er een sterk gevoel van zekerheid gecreëerd, met name door de positieve manier van het leveren van feedback.

## Inhoud

---

1. Inleiding.....	5
2. Parameters.....	6
2.1 Hazard.....	6
2.2 Exposure.....	9
2.3 Vulnerability.....	11
2.4 Internationaal vergelijk.....	12
3. Data.....	13
3.1 Hazard.....	13
3.2 Exposure.....	16
3.3 Vulnerability.....	17
4. Suggesties analyse & techniek.....	19
4.1 Hazard.....	19
4.2 Exposure.....	20
4.3 Vulnerability.....	20
4.4 Risk.....	22
5. Conclusie.....	26
6. Discussie.....	27
7. Bibliografie.....	29
8. Bijlagen.....	32

## 1. Inleiding

---

Overstromingsgevaar staat bij alle Nederlanders op het netvlies gegrift, maar het gevaar dat van natuurbranden uitgaat niet. Ook wordt in beleidsprocessen nauwelijks rekening gehouden met het risico van natuurbranden en staat onderzoek naar natuurbrandrisico hier in de kinderschoenen. Van Gulik (2008) betoogt dat dit een kwalijke zaak is: Nederland heeft juist een zeer hoge bebouwings- en bevolkingsdichtheid ten opzichte van de hoeveelheid natuurlijk brandbaar materiaal en dus is onderzoek, bewustzijn en beleid gericht op natuurbranden vereist. Dit onderzoek levert een aanzet door, op basis van internationale wetenschappelijke literatuur, te verkennen hoe een risicoanalyse voor natuurbranden in Nederland gedaan kan worden.

De gehanteerde methode is afgeleid van onderzoeken naar overstromingen in Nederland en voornamelijk de daarbij behorende risicoanalyse. Het uitgangspunt van deze analyse wordt beschreven door de volgende formule:  $Risk = Hazard * Exposure * Vulnerability$  (Kron, 2009). Deze formule is op zeer hoog detailniveau beschreven en geoperationaliseerd zodat men nu in staat is om goede schattingen te kunnen doen van het overstromingsrisico in Nederland. Zoals de formule een uitgangspunt is voor overstromingen, zo zal dit ook het geval zijn voor dit onderzoek naar natuurbranden. Hierbij moet meteen worden opgemerkt dat het niet de bedoeling is om aan het eind van de analyse een conclusie te kunnen trekken over het risico voor natuurbranden in Nederland. Het betreft een theoretisch onderzoek, voornamelijk gebaseerd op literatuur, waarin de verschillende termen aanwezig in de formule geoperationaliseerd zullen worden met betrekking tot natuurbranden. Er zal dan ook een antwoord worden gezocht op de volgende onderzoeksvraag: 'Hoe kan de formule  $Risk = Hazard * Exposure * Vulnerability$  worden geoperationaliseerd, om het risico op natuurbranden in Nederland het best te kunnen benaderen?'

De in dit rapport beschreven methode bevat drie hoofdstappen. Ten eerste zal voor elke term van de formule beschreven worden welke parameters van invloed zijn, gebaseerd op internationale literatuur. Aangezien het de bedoeling is een universele en uitwisselbare methode te beschrijven, worden de gevonden parameters als leidraad aangehouden. Onderscheid tussen verschillende regio's kan gemaakt worden door invulling van de parameters. Ten tweede zal de data-beschikbaarheid onder de loep genomen worden. Geo-data direct beschikbaar voor gebruik in een Geo-informatiesysteem (GIS), alsmede data die nog aan enige bewerkingen nodig hebben, zullen worden beschreven. De derde hoofdstap bestaat uit het doen van suggesties voor analyses en technieken die gebruikt zouden kunnen worden om de data daadwerkelijk te kunnen operationaliseren. Er is juist voor een GIS-benadering gekozen, aangezien hiermee zowel berekeningen en combinaties van datasets bewerkstelligd kunnen worden, alsmede de uitkomsten goed gevisualiseerd kunnen worden, wat van groot belang is aangezien het hier een ruimtelijk probleem betreft. Naast de GIS-component vindt ook een integratie plaats van economische en aardwetenschappelijke componenten. Deze integratie is geschikt voor de beschrijving van natuurbrandrisico, aangezien beide concepten hierin vervlochten zitten. Hierbij moet gedacht worden aan de ruimtelijke verspreiding van mensen en daarmee gepaard gaande economische waarden die bedreigd kunnen worden door het voorkomen van natuurbranden (bronnen ter inspiratie: (SPINlab VU University Amsterdam, 2012); (de Moel, 2012)). Topografie, weersomstandigheden en aanwezigheid van vegetatie zijn bijvoorbeeld aardwetenschappelijke componenten die van invloed zijn op natuurbrandrisico (bronnen ter inspiratie: (Archibald, Roy, Van Wilgen, & Scholes, 2009); (Parisien M. , et al., 2012)).

De structuur van dit onderzoek zal steeds hetzelfde zijn, een beschrijving van de drie hoofdstappen per term aanwezig in de formule, met hier en daar een uitstap. In het laatste hoofdstuk worden de termen samengebracht. In de conclusie zal antwoord gegeven worden op de gestelde onderzoeksvraag, waarna een discussie zal volgen waarin beperkingen, maar vooral ook aanbevelingen besproken zullen worden.

## 2. Parameters

---

### 2.1 Hazard

---

Hier zal een universele beschrijving van de term *hazard* volgen door parameters te ontlenen aan onderzoeken naar natuurbranden in Noord-Amerika en Afrika. Bekeken wordt welke parameters relevant zijn om de term goed te kunnen beschrijven.

Een *natural hazard* geeft de potentiële interactie tussen mensen en een extreme natuurlijke gebeurtenis weer. Het representeert de zogenaamde *likelihood* (de waarschijnlijkheid dat het gebeurt) van een extreme gebeurtenis. De reden waarom de gebeurtenis een *hazard* wordt, is dat er sprake is van de aanwezigheid van mensen. De dreiging en het risico fluctueren door de tijd, omdat menselijke en omgevingsfactoren veranderen door de tijd (Tobin & Burrell, 1997). De definitie zoals die gebruikt wordt in de formule waar dit onderzoek op gebaseerd is, luidt: 'The hazard H, i.e. the probability of occurrence of the threatening natural event' (Kron, 2009). Het gaat om de kans op het voorkomen van een bedreigende natuurlijke gebeurtenis. In de beschrijving van de parameters zal hier dan ook de nadruk op gelegd worden. Het uitgangspunt zal zijn te achterhalen wat de kans op het voorkomen van een natuurbrand is.

Voor natuurbranden zijn er drie omgevingsfactoren die beschreven kunnen worden, die niet onafhankelijk van elkaar kunnen fungeren, wil er een natuurbrand ontstaan. Er moet voldoende brandstof aanwezig zijn in een gebied, het weer moet voldoen aan de juiste condities en er moet sprake zijn van zogeheten *ignitions* (ontbrandingen) (volgens (Moritz et al., 2005) in (Parisien M. , et al., 2012)). Deze drie vereisten geven in zeer brede zin aan wat de strekking moet zijn van de parameters waar naar gezocht wordt. Om op een goede manier weer te geven wat de waarschijnlijkheid dat een natuurbrand voorkomt is, dient men rekening te houden met antropogene invloeden. Deze invloeden komen tot uiting door aanpassingen in de topografie en het veroorzaken van ontbrandingen (volgens (Schoennagel, et al., 2004) in (Parisien M. , et al., 2012)).

In Parisien, et al. (2012), worden vier zogenaamde hoofdparameters onderscheiden in de kans op een natuurbrand. Ten eerste wordt de rol van *ignitions* beschreven, bestaande uit één natuurlijke en vier antropogene oorzaken. Ten tweede wordt de vegetatie in de beschrijving meegenomen, ten derde de rol van het klimaat en ten slotte de topografie. Er wordt uitgegaan van deze hoofdparameters.

De natuurlijke variabele (binnen *ignitions*) is bliksem, welke de enige mogelijkheid geeft om op natuurlijke wijze tot een natuurbrand te komen. De vier antropogene variabelen zijn; dichtheid van de populatie, dichtheid van het wegennetwerk, gebiedsvolume zonder wegen en de afstand tot de *Wildland-urban interface* (WUI) (Parisien M. , et al., 2012). Deze laatste behelst het concept van huizen die in en om bossen, lage begroeiing en graslanden gebouwd worden. In de WUI is de bescherming tegen natuurbranden het lastigst en lijken branden sneller door menselijk handelen te worden veroorzaakt (Radeloff, Hammer, Stewart, Fried, Holcomb, & McKeefry, 2005). De variabelen zijn gekozen aangezien deze zowel de potentie van antropogene ontbrandingen als die van effectiviteit van natuurbrandbestrijding weergeven. Branden worden eerder opgemerkt en zijn beter te bereiken in gebieden met een hoge populatiedichtheid en een dicht wegennetwerk (Parisien M. , et al., 2012). De variabelen, en de parameter ontbrandingen, kunnen onder het aardwetenschappelijke deel van deze analyse geschaard worden. De ruimtelijke verspreiding van populatie en infrastructuur zijn geografisch zeer interessant.

De vegetatie geeft aan in welke mate er brandbaar materiaal aanwezig is in een gebied. De parameter is opgedeeld in twee delen, namelijk het percentage '*land cover fuels*' en de '*gross primary production*'. De eerste is weergegeven in een classificatie van 'brandstof' en 'niet-brandstof'. Zo worden bijvoorbeeld stedelijk gebied en landbouwgebied geschaard onder de 'niet-brandstof' klasse. De tweede geeft de capaciteit van een ecosysteem weer om biomassa te produceren (Parisien M. , et al., 2012). Ook deze parameter met de twee variabelen vallen onder de aardwetenschappelijke kant van dit onderzoek.

Het effect van het klimaat op de vochtigheid van de brandstof en de invloed op vegetatiepatronen worden met de klimaatvariabelen weergegeven. De focus ligt in eerste instantie bij de temperatuur en precipitatie. De gemiddelden per jaar en de extremen van de gemiddelden per maand zijn de eerste twee variabelen waar naar gekeken is. Om het groeiseizoen weer te kunnen geven is gekeken naar de lengte van het seizoen in dagen in combinatie met de cumulatieve som van graden Celsius. De jaarlijkse evapotranspiratie is gecombineerd met het watertekort, aangezien op deze manier de ecosysteemttypen weergegeven konden worden. Om de potentie tot verspreiding weer te geven is gebruik gemaakt van berekeningen van windsnelheden in de droogste en heetste maanden. Tenslotte is gebruik gemaakt van de extremen van de gestandaardiseerde precipitatie index (Parisien M. , et al., 2012).

Het effect van de topografie komt voornamelijk tot uiting door middel van de invloed op ontbrandingspatronen, vegetatie en het weer. Een vlakke topografie zal een andere invloed hebben dan een wat ruiger patroon.

In het onderzoek waar de hoofdparameters van zijn afgeleid, wordt gesteld dat er vanuit heel veel verschillende variabelen een selectie is gemaakt, om overlap en een te complexe structuur te voorkomen. Door het gebruik van een heuristische methode ('*rule of thumb*'), waarin naar correlaties is gezocht tussen de variabelen, zijn de variabelen die het meest gecorreleerd waren ontdekt. Hieruit is de variabele gekozen die het best in het gebruikte model presteerde en de te verklaren variabele het beste beschreef. Hieruit volgde een hoeveelheid van niet gecorreleerde variabelen die wel compleet waren (Parisien M. , et al., 2012). Alle variabelen zijn te herleiden naar de aardwetenschappelijk component van dit onderzoek. De combinatie van zowel topografie, temperatuur, precipitatie en windkarakteristieken laat dit vooral zien.

In een onderzoek naar de drijvende factoren van natuurbranden in Afrika worden ook verscheidene variabelen genoemd, waarvan een groot deel onder de vier hierboven genoemde hoofdparameters te scharen is. Ook hier wordt gesteld dat de weercondities, de aanwezigheid van ontstekingsbronnen en de aanwezigheid van brandstof de belangrijkste factoren zijn voor het ontstaan van een natuurbrand (Archibald, Roy, Van Wilgen, & Scholes, 2009). Voornamelijk de hypothesen die genoemd worden zijn interessant, aangezien daaruit de parameters kunnen worden afgeleid die van invloed zijn op de kans op een natuurbrand. Dit is ook nodig met het oog op de waarborging van de universele aard van dit onderzoek.

Hier wordt aangegeven dat zowel bliksem als populatiedichtheden van invloed zijn op de frequentie van natuurbrandontstekingen. Hierbij wordt ook vermeld dat landgebruik invloed heeft op de ontsteking als wel de onderdrukking van natuurbranden. Vegetatieklassen en landgebruikstypen zijn gebruikt om de aanwezigheid van brandstof weer te kunnen geven. Ook worden de effecten van de lengte van het droogteseizoen en de invloed van temperatuur en precipitatie onderkend. Een variabele die bijgevoegd kan worden is de continuïteit van brandstoffen. Er zit een link naar de topografie, maar hier wordt meer uitgegaan van de morfologie. Gefragmenteerde landschappen, natuurlijk of antropogeen (cultivatied grond, urbanisatie en ontwikkeling van infrastructuur), zal de verspreiding van natuurbranden belemmeren. Hier zit een overlap met de eerder beschreven antropogene ontstekingsbronnen (Archibald, Roy, Van Wilgen, & Scholes, 2009). De twee onderzoeken verschillen van aanpak, waardoor de parameters niet altijd op dezelfde plek terechtkomen, maar de strekking van de parameters wordt wel goed weergegeven.

In dit onderzoek zal uitgegaan worden van vier hoofdparameters die van invloed zijn op de term '*hazard*' in het geval van natuurbranden. Er moet een ontstekingsbron zijn (natuurlijk of antropogeen), de vegetatietypen en het landgebruik dienen weergegeven te worden (brandstof), klimaat en weersomstandigheden moeten worden meegenomen en topografische en morfologische invloeden moeten worden gerespecteerd, om te achterhalen wat de kans op het voorkomen van een natuurbrand is. De beschreven parameters zijn vrijwel allemaal van aardwetenschappelijke aard. Per hoofdparameter is een aantal variabelen gedetermineerd om de parameter goed te kunnen beschrijven. Dit aantal zal per specifiek onderzoek verschillen al naar gelang de methode van selecteren die gebruikt wordt. Door middel van analyses naar correlaties tussen de variabelen en hetgeen dat verklaard dient te worden, kan men achterhalen welke variabelen gebruikt moeten worden.



## 2.2 Exposure

---

De termen *exposure* en *vulnerability* zijn nauw met elkaar verbonden. Het belangrijkste verschil wordt gemaakt door het feit dat *exposure* meer betrekking heeft op de waarden die zich in een gevaarlijk gebied bevinden, waar deze waarden beschreven worden door de aanwezigheid van mensen en hun activiteiten. Hierbij moet vermeld worden dat het concept van de 'waarde van een mens' nog steeds controversieel is en daarbij lastig te kwantificeren, waardoor het onverstandig is deze mee te nemen in een analyse. Hier komt de economische component van het onderzoek naar voren; het aangeven van de economische waarden in een gebied. De term *vulnerability* beschrijft de capaciteit van mensen om met natuurbranden om te kunnen gaan. Het gaat om de voorbereiding, het reactievermogen en het vermogen tot recuperatie. Variabelen die met de redenen voor mensen om zich te vestigen in brandgevaarlijke gebieden te maken hebben, zijn relevant in het geval van *exposure*. De term, beschreven zoals in de gebruikte formule, luidt: 'The exposed values or values at risk E, i.e. the objects that are present at the location involved' (Kron, 2009). De discussie over het verschil tussen *exposure* en *vulnerability* bevat ook een stuk interpretatie. Volgens Collins (2009), is *social vulnerability* bijvoorbeeld een van de variabelen die invloed heeft op *exposure* voor een natuurbrand. Volgens Andrey & Jones (2008), daarentegen, is juist het tegenovergestelde het geval. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat de termen steeds verschillend uitgelegd kunnen worden. In de formule die in dit onderzoek gebruikt wordt, zijn de twee concepten uit elkaar gehaald. Dit zal dan ook worden aangehouden gedurende het onderzoek. Raakvlakken, maar zeker ook verschillen dienen aangegeven te worden (Collins, 2009).

Volgens Collins (2009), worden in totaal acht parameters weergegeven die invloed hebben op *hazard exposure*. De parameters zijn: *hazard perceptions*, *amenity value conflicts*, *institutional incentives*, *ecological knowledge*, *social vulnerability*, *place dependency*, *housing contextual factors*, en *self-protection*.

De perceptie van een *hazard* kan invloed uitoefenen op de keus van mensen om wel of niet in een gevaarlijk gebied te gaan wonen. Als men niet inziet welk gevaar er in een gebied aanwezig is en hoe groot dit is, kan het voorkomen dat men zich lokaliseert op plekken waar de *hazard* toch aanwezig is. Ook hoe aantrekkelijk een bepaald gebied is speelt mee in het keuzeprocess van potentiële bewoners (*amenity value conflicts*). Dit houdt in dat men een afweging maakt tussen de kans op een natuurbrand ten opzichte van hun waardering van een bepaald gebied. Deze waardering is nauw verbonden met de esthetische waarde gegeven aan een gebied. Preferenties van de mogelijke bewoners spelen daarbij een grote rol. Besluiten met betrekking tot de minimalisatie van een *hazard* worden gemaakt door middel van zaken als verzekeringen en programma's die mitigatiekosten delen als referentie. Het kan zijn dat in de beslissing om in een brandgevaarlijk gebied te gaan wonen, men doet alsof een brandverzekering de *hazard* van een natuurbrand verkleint. Ecologische kennis wordt ook genoemd als een parameter die invloed heeft op *exposure*. Echter, deze hypothese is niet getest en zal daarom ook verder niet meegenomen worden in het onderzoek. Er zijn wel onderzoeken naar de invloed van ecologische kennis van de traditionele bevolking van een gebied op landgebruik en *hazards*, maar niet van bevolking in het algemeen (Huntington, 2000) (Berkes, Colding, & Folke, 2000).

*Social vulnerability* wordt ook als aparte variabele gezien en wordt beschreven als de capaciteit van mensen om te anticiperen, te reageren en te herstellen van een *hazard*. In zekere zin klopt deze definitie wel, echter de hypothese dat socio-economisch 'mindere' groepen ook minder toegang tot bronnen hebben om met natuurbranden om te kunnen gaan is niet getest. Er zijn wel onderzoeken naar socio-economische status vergeleken met gezondheid en geslacht, welke minder relevant zijn in dit geval (Nazroo, 1998) (Myers, 2009). Aangezien *vulnerability* apart zal worden beschreven, wordt het in deze context niet verder meegenomen.

*Place dependency*, ofwel afhankelijkheid van een bepaalde locatie, behelst het concept van afhankelijkheid aan een plaats vanwege de sociale netwerken die een persoon daar heeft opgebouwd. Aangezien dit fenomeen ook nog niet is getest, kan niet gezegd worden wat precies de invloed is op *exposure*. Er is wel informatie over het concept plaats afhankelijkheid, maar niet direct in relatie tot de aanwezigheid van een *hazard* (Hidalgo & Hernandez, 2001). *Housing contextual factors*, zijn factoren als de grootte van het gebouw, bouwjaar en de waarde van het gebouw. Hoe groter een huis, hoe meer men moet doen om het volledig te kunnen beschermen. Hoe nieuwer het huis, hoe beter de richtlijnen zijn waaraan het moet voldoen, waarmee het beter beveiligd is tegen *hazards* dan een oud huis. Dit zijn voorbeelden die illustreren hoe de contextfactoren van gebouwen van invloed zijn op *exposure*. *Self-protection* houdt in waar en in wat voor soort woning een huishouden leeft. Op twee manieren kan dit tot uiting komen, door preventie (het kiezen van een veilige locatie) en mitigatie (tijdens woonperiode de *hazards* minimaliseren).

Men kan stellen dat hier de meer economische aard van de analyse naar voren komt. Bijvoorbeeld in het concept waarbij de waardering van natuur (*amenity value* conflicts) meegenomen wordt in de afweging ergens te gaan wonen. Ook de introductie van de verzekering kan gezien worden als een economische variabele. Daarbij worden de waarden van percelen en huizen ook bekeken.

## 2.3 Vulnerability

---

De term *vulnerability* heeft te maken met de capaciteit van mensen om te anticiperen, te reageren en te herstellen van een *natural event*. De beschrijving van de term gebruikt in de formule, luidt: 'The vulnerability V, i.e. the lack of resistance to damaging/ destructive forces' (Kron, 2009). De belangrijkste parameters die worden geacht invloed te hebben op *vulnerability*, zijn toegang tot bronnen, politieke invloed, kapitaal en menselijke zwakheden. De relevantie van deze parameters verschillen per aard van de *hazard* die beschreven wordt (Andrey & Jones, 2008). De parameters worden verder uitgelegd in termen van specifieke variabelen. Attributen als leeftijd, geslacht, huishouden, etniciteit en sociale status komen bijvoorbeeld naar voren als relevante factoren. Hierbij worden hypothesen over de invloed opgesteld als; oudere mensen kunnen minder makkelijk verplaatsen ten tijde van een natuurbrand en alleenstaande moeders zullen moeilijker kunnen herstellen door lage inkomens en hoge verantwoordelijkheden in familieverband. In het artikel van Andrey & Jones (2008) wordt gebruik gemaakt van negentien variabelen die nadelige omstandigheden beschrijven. De variabelen komen voort uit de hierboven beschreven parameters. Ook wordt voor elk van de gebruikte variabelen uitgelegd waarom deze meegenomen is in de analyse.

Ook door Cutter, Boruff, & Shirley (2003) wordt aangestipt dat bereikbaarheid van bronnen (informatie, kennis en technologie), politieke invloed en representatie, sociaal kapitaal (ook sociale netwerken en connecties), gewoonten, zwakheden (fysiek en psychisch) en type en dichtheden van infrastructuur van belang zijn in de beschrijving van *vulnerability* (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003). Ook de variabelen uit dit artikel zijn deels terug te vinden in de tabel. Er is een selectie uit beide onderzoeken genomen om overlap tussen de variabelen te voorkomen, zie bijlagen een en twee (originele tabellen in bijlagen zes en zeven).

Belangrijk is het verschil met de parameters die gebruikt zijn om *exposure* te beschrijven te herkennen. Parameters voor *vulnerability* beschrijven de karakteristieken van mensen en regio's om zo aan te kunnen geven in welke mate deze om kunnen gaan met een bepaald gevaar.

In het beschrijven van de term *vulnerability* wordt zowel de aardwetenschappelijke als de economische zijde van het onderzoek belicht. Variabelen als leeftijd, geslacht, huishoudencompositie, staatsburgerschap, etniciteit, medische diensten, *social dependence*, *special needs population* en educatieniveau zijn demografisch belangrijke variabelen. Een aantal is indirect ook economisch van invloed (huishouden, educatieniveau). De demografische variabelen geven buiten de natuurbrandcontext aan hoe een maatschappij eruit ziet en waar zich welk 'soort' mensen bevindt. Variabelen als financiële gesteldheid, werkloosheid, waarde van een huis, socio-economische status, commerciële/industriële ontwikkeling, potentieel verlies aan arbeid, platteland versus stedelijk gebied en verlies aan infrastructuur zijn de meer economische variabelen. Ook hiermee kan men aangeven hoe een maatschappij eruit ziet, maar dan enkel en alleen via economische maatstaven. De combinatie van beide componenten is cruciaal, aangezien met de verspreiding hiervan meer en minder kwetsbare gebieden aangewezen kunnen worden, wat in dienst staat van het doel om het risico te kunnen beschrijven.

## 2.4 Internationaal vergelijk

---

Om een beter begrip te creëren wat betreft de generieke en unieke kwaliteiten die Nederland bezit, wordt hier kort gereflecteerd op de overeenkomsten en verschillen met een fysisch en morfologisch verschillend land, Zwitserland. Op deze manier wordt een idee gegeven van de invulling van verschillende parameters. De zogenaamde kwaliteiten zijn gebaseerd op de parameters die voortgekomen zijn uit internationale literatuur, aangezien die de leidraad vormen voor dit onderzoek.

Topografie is een belangrijke parameter in natuurbrandverspreidingsonderzoek. Het blijkt dat branden in het algemeen de helling op verspreiden (Volgens: Butler, et.al., 2007; Jaiswal, et.al., 2002) in (Boo, 2013)). Zwitserland kenmerkt zich door de aanwezigheid van veel bergen, waar Nederland juist bekend staat om het vlakke landschap met weinig reliëf. Dit betekent dat deze parameter in de Nederlandse situatie minder invloed zal hebben op de analyse, er zijn niet veel verhoogde natuurlijke obstakels in het landschap. Daarentegen is er wel sprake van een dicht weggennet en relatief veel bebouwing ten opzichte van de hoeveelheid natuurlijk materiaal (van Gulik, 2008). In Zwitserland zal hoogst waarschijnlijk het overgrote deel van de urbane gebieden zich bevinden in de dalen in plaats van in de bergen, vanwege het feit dat hier makkelijker gebouwd kan worden. Dit zou kunnen komen door de minder steile hellingen die op lagere hoogtes aanwezig zijn. Dit zal invloed hebben op de mate van invloed van de aanwezigheid van stedelijk gebied op het ontstaan van een brand en de mate van blootstelling. Nederland heeft wat dat betreft een unieke structuur waarin men een balans probeert te zoeken tussen stedelijke en natuurlijke ontwikkeling, wat invloed heeft op het landgebruik en dus ook op de kans van voorkomen van een natuurbrand (Koomen, 2013). Zoals in de inleiding ook naar voren is gekomen staat Nederland bekend om de manier waarop er wordt omgegaan met het gevaar van overstromingen. Dit impliceert de aanwezigheid van water, in de vorm van rivieren en meren. In geval van Zwitserland zal dit ook invloed hebben, aangezien vanuit de bergen ook rivieren ontstaan die een natuurlijke barrière kunnen vormen. Wat betreft de zogenaamde *land cover fuels* zullen er ook verschillen zijn tussen Nederland en Zwitserland. Vanwege het hoogteaspect wat gepaard gaat met bergen, zullen andere vegetatietypen zich verspreiden wat invloed zal hebben op de verspreiding van een natuurbrand. Naarmate men hoger komt op een berg is de transitie van loof-georiënteerde vegetatie naar naald-georiënteerde vegetatie aanwezig. Dit is in Nederland niet het geval, aangezien de gebergten ontbreken. Wel zal er verschil zijn in de vegetatietypen op de verschillende bodems in Nederland (zand met naaldvegetatie, veen en klei met loofvegetatie bijvoorbeeld) (Kasse, 2012). Ten slotte zullen ook de klimaat- en weersparameters van invloed zijn. Wederom door de topografische verschillen tussen Zwitserland en Nederland, zullen deze verschillen. De temperatuur daalt bijvoorbeeld met de hoogte en de windsnelheid neemt toe, wat invloed kan hebben op de kans van voorkomen van een natuurbrand (volgens (Ishida and Kawashima, 1993) in (Boo, 2013)). Er kan gesteld worden dat de belangrijkste verschillen kunnen worden afgeleid uit de topografische verschillen tussen de twee landen. Natuurlijk zijn er meer verschillen, maar in dit vergelijk ligt de focus op de unieke fysische en morfologische karakteristieken van Nederland.

## 3. Data

---

### 3.1 Hazard

---

Voor de term *hazard* dienen er data gevonden te worden voor de volgende parameters; *ignitions* (bliksem en vier antropogene), vegetatie, klimaat en topografie. Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft voor veel natuurlijke fenomenen meetapparatuur waarmee data gegenereerd kunnen worden, zo ook voor bliksem. Een zogenaamd bliksemdetectiesysteem produceert één minuut, vijf minuten en vierentwintig uur data welke worden opgeslagen in KNMI-HDF5 bestanden. Alle waarnemingen bevatten het tijdstip van de waarneming, de lengte- en breedtegraad, nauwkeurigheid van lokalisatie en de typering van het soort bliksem (bij een wolkgrond ontlading ook nog stijg- en daaltijd en stroomsterkte). Er vindt een combinatie van neerslagradarbeelden met ontladingsbeelden plaats met een grootte van de beeldpunten van het radarbeeld van 2.5 bij 2.5 kilometer (KNMI, Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H20), 2006).

Ook voor de klimaatvariabelen kunnen veel van de data achterhaald worden bij het KNMI, die voor vrijwel alle methoden gebruik maakt van de richtlijnen van de World Meteorological Organization (WMO). De gemiddelde neerslag wordt berekend door elke seconde te observeren of er sprake is van een bepaalde hoeveelheid neerslag. Er wordt een gemiddelde genomen in een sample van twaalf seconden, waar vervolgens mee wordt doorgerekend om gemiddelden per minuut, tien minuten, een uur enzovoorts uit te rekenen (36 tien minuten samples staan gelijk aan zes uur) (KNMI, Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H6), 2006). Voor de gemiddelde temperatuur wordt een soortgelijke methode gehanteerd. Ook hier worden gemiddelden per minuut gebruikt om gemiddelden te fabriceren voor tien minuten en langere perioden (KNMI, Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H2), 2006). Uit de waarnemingen gedaan met betrekking tot temperatuur en neerslag kunnen ook extremen per maand herleid worden. De definitie van het groeiseizoen verschilt in de wetenschappelijke literatuur (Brinkman, 1979). Het blijkt dat het groeiseizoen verschilt per vegetatietype, aangezien niet elke soort vegetatie sterft bij dezelfde omstandigheden. Een algemeen concept in de lengte van het groeiseizoen is wel dat het gaat om hoe lang vegetatie kan groeien (makkelijk te baseren op temperatuur). Wil men een goede beschrijving geven van het groeiseizoen, dan zal men per vegetatietype moeten achterhalen wat de temperatuur is waarbij deze niet meer kan groeien (Brinkman, 1979). Gebaseerd op temperatuur en globale stralingsmetingen berekent het KNMI de referentie gewasverdamping (ook wel evapotranspiratie van een uniform grasland voorzien van voldoende water). Er worden geen directe metingen gedaan, maar er worden berekeningen uitgevoerd om de evapotranspiratie te achterhalen (KNMI, Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H10), 2006). Voor de windparameter heeft het KNMI metingen gedaan die informatie opleveren over de windsnelheid, richting en of het gaat om een windstoot of vlaag. De waarden van de metingen lopen van drie seconden tot uur waarnemingen (KNMI, Handboek waarnemingen hoofdstukken in PDF (H5), 2006).

Onder de antropogene parameters vallen bevolkingsdichtheid, dichtheid van het wegennetwerk, gebiedsvolume zonder wegen en de afstand tot de Wildland-Urban Interface (WUI). Data over de bevolkingsdichtheid van Nederland zijn te vinden bij het Centraal bureau voor de Statistiek (CBS). Er zijn data beschikbaar waar de grootte van de bevolking wordt gedeeld door het landoppervlak in km<sup>2</sup> vanaf het jaar 1950. Per jaar wordt de grootte van de populatie op 1 Januari genomen (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013). Voor de dichtheid van het wegennet is in Nederland het Nationaal Wegen Bestand ontwikkeld door Rijkswaterstaat. Alle wegen die onder beheer staan van het Rijk, de provincies, de gemeentes en de waterschappen met een straatnaam of nummer zijn opgenomen in het NWB-wegen. Dit levert ongeveer 148.000 kilometer gedigitaliseerde wegvakken op, welke twaalf keer per jaar worden geactualiseerd (Rijkswaterstaat Data en ICT Dienst, 2012). Als men de data met betrekking tot de dichtheid van het wegennet in een Geo-informatie systeem (GIS) zet, kan ook berekend worden wat de oppervlakte is van het gebied zonder wegen.

Ook voor de WUI is niet direct een dataset beschikbaar, maar moet er een dataset gefabriceerd worden. De algemene definitie is dat de WUI beschrijft waar de grens ligt tussen bewoning en zogenaamd *wildland*. Volgens Radeloff et.al. (2005) zijn verschillende kwantitatieve definities mogelijk zijn om de WUI te beschrijven. Zo kenmerkt de overheid van de Verenigde staten de WUI als meer dan 1 unit per 0.3 acre terwijl in het artikel uitgegaan wordt van meer dan 1 unit per 2.4 acre met een vlak van minimaal tien hectare en anderen de WUI beschreven hebben als meer dan 1 unit per 40 acre met minder dan vijftig procent *wildland vegetation* (Radeloff, Hammer, Stewart, Fried, Holcomb, & McKeefry, 2005). Het is dus zaak om voor Nederland te bepalen welke definitie voor de WUI bruikbaar is om vervolgens te kunnen bepalen (in een GIS-omgeving) wat de afstand ernaartoe is vanaf een bepaald punt.

Wat betreft de vegetatie zou er gebruik gemaakt kunnen worden van de Landelijk Grondgebruik Nederland 6 (LGN6). In deze dataset wordt het landgebruik van Nederland weergegeven. Het voordeel van de dataset is dat er redelijk wat detail te zien is in vegetatietypen (bijvoorbeeld drie verschillende soorten heide) naast de terreintypen. Aangezien het landgebruik ook als een parameter van invloed wordt beschouwd, is deze dataset een goede optie. Een nieuwe classificatie kan dan gemaakt worden met daarin klassen van brandbaarheid. Men moet per terreintype een brandbaarheid aan kunnen geven, waartoe een aanzet is gegeven in Bootsma en van Riemsdijk (2013). De primaire productie van de vegetatie zal verschillen van andere delen van de wereld, aangezien er sprake is van andere soorten vegetatie. In het meest optimale geval wordt een vegetatiekaart gegenereerd voor heel Nederland, waarvan ook bekend is wat de brandbaarheid is van de vegetatietypen. Voor de Hoge Veluwe is een gedetailleerde vegetatiekaart gemaakt door Alterra (Bijlsma & Griffioen, 2008), welke wellicht gebruikt zou kunnen worden als basis voor een vegetatiekaart voor heel Nederland (waar de brandbaarheid van bepaald zou moeten worden (Bootsma & van Riemsdijk, 2013)).

De primaire productie zou men kunnen achterhalen door het gebruik van satellieten. De MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) van NASA geeft op globale schaal de primaire productie weer door middel van *remote sensing*. Gebaseerd op wat opgevangen wordt aan infrarode straling kan met behulp van een algoritme berekend worden wat de primaire productie van de vegetatie is. Het gaat om data met een interval van acht dagen en een resolutie van één kilometer bij één kilometer, beginnend vanaf 24 februari 2000 (Zhao, Heinsch, Nemani, & Running, 2005).

De gestandaardiseerde precipitatie index (SPI) geeft het verschil ten opzichte van het gemiddelde weer voor een bepaalde tijdsperiode gedeeld door de standaarddeviatie, gebaseerd op historische neerslagdata (McKee, Doesken, & Kleist, 1993). De kans op neerslag zit in de methode die de SPI voortbrengt.

Rijkswaterstaat heeft het zogenaamde Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) ontwikkeld. Dit bestand bevat hoogtedata van vrijwel elke vierkante meter van Nederland. Met behulp van lasertechnologie wordt een hoogtegrid met een resolutie van een halve meter gefabriceerd (Rijkswaterstaat, 2009).

Zoals gebleken, zijn voor een groot deel van de parameters data beschikbaar. De technieken om voor de overige parameters te berekenen wat de waarden zouden moeten zijn, zijn ook beschikbaar. Vanwege de grootte van dit onderzoek zijn de specifieke technieken achterwege gelaten.

### 3.2 Exposure

---

Er kan onderscheid gemaakt worden in de beschreven parameters op basis van de functie die deze hebben. De parameters, *hazard perceptions*, *amenity value conflicts*, *institutional incentives*, *ecological knowledge*, *social vulnerability*, *place dependency*, geven de verandering en ontwikkeling van de term *exposure* van een gebied weer. Bijvoorbeeld, door het wel of niet nemen van een brandverzekering, verandert de mate waarin men inziet dat er een gevaar aanwezig is. Of, naarmate men een betere perceptie heeft van een gevaar, zal men meer of minder ‘*exposed*’ zijn. De parameters *housing contextual factors* en *self-protection* geven de huidige en fysieke waarden weer in een gebied. Deze kwaliteiten maken een objectieve en kwantitatieve analyse makkelijker. In het volgende hoofdstuk zal blijken dat deze laatste twee ook het best te gebruiken zijn voor een analyse. Data voor de eerste set aan parameters kunnen verzameld worden door het uitvoeren van enquêtes. Door bijvoorbeeld gerichte vragen te stellen met betrekking tot welke ideeën men heeft over het gevaar van natuurbranden in Nederland, kan men achterhalen wat de perceptie van het gevaar is. Er is geen kant-en-klare informatie aanwezig die over te nemen is en geïmplementeerd kan worden, de data zullen gemaakt moeten worden (zoals ook gebeurt in het artikel Collins (2009)).

De parameters van de zogenaamde fysieke kant van *exposure* worden naast het gebruik van enquêtes ook door andere data beschreven. Het gaat hier om bijvoorbeeld perceelgrootte, waarde van het perceel en de woning en bouwjaar van de woning. Data die te maken hebben met percelen en woningen kunnen opgevraagd worden bij het Kadaster. Het is echter niet duidelijk of de data beschikbaar gemaakt kunnen worden voor heel Nederland en wat de kosten van deze informatie zullen zijn. Het lijkt erop dat informatie van regio’s beschikbaar is, tegen betaling (Kadaster, 2013). Gedetailleerde informatie over het soort woning en de maatregelen die genomen zijn in het kader van natuurbranden kan worden achterhaald door veldwerk te verrichten. Er blijkt echter wel dat binnen *self-protection* er ook gekozen moet worden tussen bepaalde variabelen. Mitigatiemaatregelen zoals het kappen van bomen en het regelmatig maaien van gras, blijken namelijk geen of een negatieve correlatie te hebben tot *exposure* (Collins, 2009).

Zoals blijkt is informatie met betrekking tot de term *exposure* niet direct voorhanden en is het zaak deze data te prepareren door middel van enquêtes en veldwerk. Ook moet uitgezocht worden in hoeverre het kadaster open staat voor het vrijgeven van perceeldata. Verder mag niet vergeten worden de metadata te fabriceren, zodat duidelijk is wat de aard is van de gemaakte datasets. Ook dit is uiterst van belang in het creëren van een universele methode.



### 3.3 Vulnerability

---

Van veel van de data werd verwacht dat deze gevonden konden worden bij het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), aangezien dit de centrale instantie is waar vrijwel alle statistische data van Nederland bijgehouden worden. De parameters hebben vrijwel allemaal de strekking van onderwerpen waarmee het CBS mee gemoeid is. In bijlage drie en vier staat weergegeven welke data hoe dan ook te verkrijgen zijn bij het CBS en welke aanpassingen wellicht gedaan zouden moeten worden. Er is gezocht naar data op gemeentelijk niveau, aangezien dit de kleinste ruimtelijke schaal is waarop het CBS de data aanlevert. Er zijn wel data beschikbaar op wijk- en buurniveau, maar deze zijn vaak incompleet en bevatten weinig informatie voor gebieden met weinig inwoners. Aangezien het hier natuurbranden betreft, moeten ook de meer rurale gebieden meegenomen worden in het onderzoek. Wat betreft het tijdsaspect zit er een aantal verschillen tussen de parameters. Bepaalde datasets gaan terug tot begin jaren '90, maar andere starten rond het jaar 2000. In het algemeen lijkt het erop dat er per dataset voldoende informatie is om ook van eerdere jaren een analyse te kunnen doen. In bijlagen drie en vier is te zien dat van een aantal datasets de data voor een deel aangepast dienen te worden. De beschrijving van het wel of niet hebben van het Nederlandse staatsburgerschap bijvoorbeeld, gebeurt door te kijken naar de verspreiding van nationaliteiten tussen gemeenten. Aangezien er daarentegen geen expliciete data zijn die de etniciteit beschrijven moet er gewerkt worden met de verschillende nationaliteiten en de verspreiding van allochtonen. Hiermee wordt de parameter die eventuele taalbarrières en cultuurverschillen bevat toch meegenomen in de analyse, wat de reden van beschouwing in eerste instantie was (Andrey & Jones, 2008). Wat betreft het educatieniveau is er informatie beschikbaar over het aantal studenten van een jaar per woongemeente, wat inhoudt dat er bekeken wordt per educatieniveau (vmbo, havo, vwo, vavo enzovoorts) hoeveel studenten er in een gemeente wonen in september van een schooljaar.

Hier dient bepaald te worden welke educatieniveaus er geschaard kunnen worden onder lage, middel en hoge educatie, zodat in de analyse de invloed op *vulnerability* weergegeven kan worden. De volgende dataset waar aanpassingen in gemaakt moet worden is die van het aantal huurhuizen. Aangezien er alleen informatie beschikbaar is over het aantal huurhuizen in gemeenten met meer dan 100.000 inwoners, moet er een inventarisatie gemaakt worden binnen alle gemeenten. Op die manier kan men in elke gemeente bepalen of de *vulnerability* hoger is door afhankelijkheid van de verhuurder op herstel na een natuurbrand.

Wat betreft de parameter socio-economische status, moet uitgegaan worden van het niveau van inkomen in een gemeente. Dit is de enige meetbare variabele in het concept 'status'. Politieke macht en prestige zijn vrijwel niet meetbaar en zullen dan ook buiten de analyse gehouden moeten worden. De waarde van commerciële en industriële ontwikkeling kan alleen verkregen worden via de productie in miljoenen euro's voor alle sectoren per vestigingsgrootte per provincie. Het is mogelijk de waarden evenredig te verspreiden over de gemeenten binnen de provincies, maar dan moet men accepteren dat de waarde per gemeente niet precies juist zal zijn. Wil men accurate cijfers, dan zal de waarde van de vestigingen binnen gemeenten geïnventariseerd moeten worden over verschillende jaren, om de economische staat van de gemeenten te achterhalen.

Rurale gebieden worden in de literatuur meegenomen gebaseerd op de hypothese dat deze gebieden er in het algemeen economisch minder goed voor staan. Aangezien ook al de financiële gesteldheid in de vorm van uitkeringen en niveau van inkomen wordt beschouwd per gemeente, lijkt het niet nodig 'rurale gebieden' apart te beschouwen. Stedelijk gebied daarentegen wordt in de analyse meegenomen, onder de aanname dat het lastiger is te evacueren. Aangezien hier nog geen expliciete parameter voor benoemd is, is het interessant dit criterium wel mee te nemen in de analyse. Hier zullen geen data van het CBS voor gebruikt hoeven worden, aangezien in de landgebruikskaarten ook achterhaald kan worden welke gebieden bezet worden door stedelijk gebied. Hetzelfde geldt voor het potentieel verlies aan infrastructuur, ook deze data kunnen in een GIS-omgeving geanalyseerd worden. Door bijvoorbeeld per gemeente te bekijken hoeveel kilometer aan weg er aanwezig is.

Als het gaat om de verspreiding van medische diensten in een gebied is er weinig informatie beschikbaar. Wel zijn er data over de hoeveelheden per jaar, maar de locaties worden niet vermeld. Ook hier is het zaak om per gemeente een inventarisatie te maken van de verspreiding van medische diensten. De parameter *social dependence* beschrijft het principe van een toename in *vulnerability* van mensen die al afhankelijk waren van sociale instanties, in geval van een event. Om de 'sociale afhankelijkheid' weer te geven zou men uit kunnen gaan van het wel of niet hebben van een uitkering. Aangezien dit ook al beschreven is binnen de parameter financiële gesteldheid, is het niet nodig deze opnieuw te beschouwen. De parameter *special needs population* is het meest lastig te beschrijven. Er zijn wel data beschikbaar, maar niet van dien aard dat deze makkelijk te implementeren zijn. Wellicht kan men bij het maken van de inventarisatie van de medische diensten per gemeente, ook gehandicaptenzorginstellingen lokaliseren (psychische en fysieke zorginstellingen).

## 4. Suggesties analyse & techniek

---

### 4.1 Hazard

---

In de literatuur komt naar voren dat er gebruik gemaakt dient te worden van statistiek om de kans op een natuurbrand te kunnen bepalen. Door middel van *multivariate analysis* kan men een vergelijking trekken tussen de afhankelijke variabele en meerdere verklarende variabelen. In dit geval zou de afhankelijke variabele beschreven worden door historische ontbrandingen en zouden de verklarende variabelen weergegeven worden door de beschreven parameters (de la Riva, Pérez-Cabello, Lana-Renault, & Koutsias, 2004) (Parisien M. , et al., 2012). In eerste instantie zou men moeten achterhalen wat de mate is van de zogenaamde *multicollinearity*, welke weergeeft hoe sterk de correlatie is van de verklarende variabelen onderling, waarmee overlap in de parameters voorkomen kan worden (Cardille, Ventura, & Turner, 2001). Nadat de correlatie tussen de afhankelijke variabele en de verklarende variabelen duidelijk is en men weet in welke mate de parameters de historische ontbrandingen kunnen verklaren, kan men een kans op ontbrandingen hieruit afleiden. Het gebruik van regressieanalyses om de kans op een brand te achterhalen is een methode die alleen gebruikt kan worden als de afhankelijke variabele historische ontbrandingen is (de la Riva, Pérez-Cabello, Lana-Renault, & Koutsias, 2004) (Cardille, Ventura, & Turner, 2001).

In Nederland ontbreekt echter een groot deel van de data die informatie verschaft over historische ontbrandingen, waarmee de analyse zoals hierboven beschreven lastig uitgevoerd zou kunnen worden. Men is gedwongen uit te gaan van zeer gelimiteerde informatie, welke helpt bij het bewijs van de aanwezigheid van natuurbranden in het verleden. Door te achterhalen wat de locatie en de grootte is geweest van bepaalde natuurbranden in Nederland (bijvoorbeeld met behulp van krantenartikelen), kan de staat van de parameters op die locatie onderzocht worden. Vervolgens moet gezocht worden naar dezelfde set aan parameters die samen zijn gevallen met een historische brand. Als parameters in meerdere of mindere mate voorkomen, kan bepaald worden of de kans van voorkomen verhoogd of verlaagd wordt. Door een sensitiviteitsanalyse uit te voeren kan achterhaald worden welke parameters de meeste invloed hebben op het ontstaan van een natuurbrand. Doordat men bekijkt wat de invloed is van een kleine verandering in de input parameters (beschreven parameters) op de output (kans op een natuurbrand), kan men proberen de kans op een natuurbrand in Nederland te vinden (Smith, Szidarovsky, Karnavas, & Bahill, 2008).

Er wordt dus gebruik gemaakt van een multivariate analyse als basis voor onderzoek naar de kans op een brand (gebaseerd op historische ontbrandingen), waarbij zoveel mogelijk informatie wordt gezocht, waarna men op verschillende locaties door heel Nederland een kans op natuurbranden probeert te achterhalen.

## 4.2 Exposure

---

Zoals in het vorige hoofdstuk ook al naar voren kwam, moet een groot deel van de data gemaakt worden door middel van enquêtes. In Collins (2009) staan vragen geformuleerd om de verschillende parameters operationeel te krijgen. Het gaat hier om kwalitatieve parameters die omgezet moeten worden in kwantitatieve maten, terwijl de 'fysieke' parameters al kwantitatief zijn en een (geld) waarde hebben (Collins, 2009). In eerste instantie zullen de parameters die de ontwikkeling van *exposure* beschrijven, niet worden beschouwd in de analyse. Als de invloeden van deze parameters precies achterhaald zijn, kan dit veranderen.

De parameters *housing-contextual factors* en *self-protection* worden wel meegenomen aangezien deze makkelijker te kwantificeren zijn en weergeven wat de huidige en fysieke waarden in een gebied zijn. Door per perceel in Nederland te bekijken wat de waarde is, kan men gemakkelijk (later in de analyse) onderzoeken wat de schade zou zijn in geval van een natuurbrand. Aangezien er in een GIS omgeving gewerkt wordt, is het handig om rasters te gebruiken, omdat dan gemakkelijk per cel aangegeven kan worden wat de waarde uitgedrukt in euro's is. Dit zou vervolgens gecombineerd kunnen worden met de kans op een natuurbrand in diezelfde cel. Zo kan men naar de *consequences per year* toe werken, die ontstaat als men de termen *hazard* en *exposure* samen zou voegen, middels vermenigvuldiging.

## 4.3 Vulnerability

---

Er zal een simpel concept model opgesteld moeten worden om de kwalitatieve waarden die gepaard gaan met de beschrijving van *vulnerability*, om te kunnen zetten naar kwantitatieve waarden zodat er een combinatie plaats kan vinden met de andere termen in de formule.

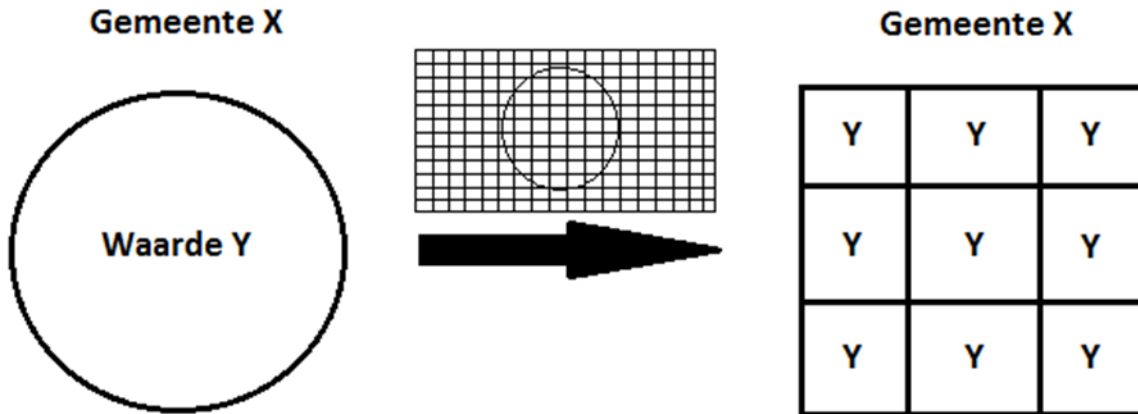
In de literatuur zijn hypothesen opgesteld die beschrijven wat de invloed is van de parameters op *vulnerability*. Het schiften van parameters is gebeurd middels het gebruik van statistische methoden. Ook om de relaties van de uiteindelijk gekozen parameters met *vulnerability* bloot te leggen is gebruik gemaakt van statistiek. Hier zal verder niet te veel aandacht aan besteed worden, aangezien dit uitgebreid in de literatuur beschreven staat (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003) (Andrey & Jones, 2008).

De invloeden kunnen weergegeven worden middels het gebruik van de waarden +1 en -1. Een voorbeeld zal dit verduidelijken; leeftijden onder de 18 jaar en boven 65 jaar worden beschouwd een negatief effect te hebben op de kwetsbaarheid van een gebied, waarmee de *vulnerability* zal stijgen. Doordat families geneigd zijn minder snel te evacueren, omdat ze moeten wachten op deze twee afhankelijke leeftijdsgroepen is deze hypothese opgesteld. De analyse zal plaatsvinden in een rasteromgeving binnen verschillende gemeenten, aangezien de data aangeleverd worden op dit niveau. Per gemeente moet bepaald worden welke hypothetische invloed de overhand heeft, waarna scores van +1 of -1 ingevuld kunnen worden. Aangezien er gewerkt wordt met negentien parameters, kunnen er theoretisch gezien maximale scores behaald worden van +19 en -19, waar de eerste betekent dat een gebied zeer kwetsbaar is en de tweede het tegenovergestelde.

Er is een aantal zaken waar rekening mee gehouden dient te worden. Ten eerste krijgt elke rastercel binnen een gemeente dezelfde waarde en score toegekend. Figuur 4.3.1 illustreert dit principe; aangezien de gemeentekaart uit vectordata bestaat, zullen de waarden van de parameters verspreid moeten worden over de rastercellen (Vrije Universiteit, 2013). Dit is in de praktijk niet realistisch, aangezien er ook binnen gemeenten verschillen kunnen zijn in *vulnerability* (hier wordt later op ingegaan). Ten tweede wordt in deze methode elke parameter even zwaar meegewogen in de beschrijving van *vulnerability*. Ook hier zou men over kunnen discussiëren, aangezien niet elke parameter evenveel invloed zal hebben op de term.

Het derde belangrijke punt is dat er gewerkt moet worden met drempelwaarden voor enkele parameters. Deze dienen goed beargumenteerd en doordacht opgesteld te worden, om een zo realistisch mogelijk beeld te geven.

Het is vooral van belang dat herkend wordt dat met behulp van deze methode, een misschien wat simplistische, maar toch effectieve manier van kwantificatie bereikt kan worden. Dit laatste is zeer van belang voor de uiteindelijke analyse naar *Risk*. In tabel 4.3.1 is weergegeven welke scores de parameters zullen hebben op de term *vulnerability*.



Figuur 4.3.1; Voorbeeld waarbij data worden verdeeld over rastercellen

Variabelen	Als parameter is:	Invloed:	Als parameter is:	Invloed:
Leeftijd	<18 of >65 jaar	1	18-65 jaar	-1
Geslacht	Vrouw	1	Man	-1
Huishoudencompositie	1 ouder, 6 of meer	1	2 ouder	-1
Staatsburgerschap	Niet	1	Wel	-1
Etniciteit	-	-	-	-
Educatie niveau	laag	1	hoog	-1
Financiële gesteldheid	Uitkering	1	Geen uitkering	-1
Financiële gesteldheid	Laag inkomen, gemiddeld inkomen	1	Hoog inkomen	-1
Werkloos	Gemiddeld meer werklozen in gemeente	1	Vice versa	-1
Waarde van een huis	-	-	-	-
Huurder	Gemiddeld meer huurhuizen in gemeente	1	Vice versa	-1
Socio-economische status	-	-	-	-
Commerciële/industriële ontwikkeling	Hoge dichtheid	1	Lage dichtheid	-1
Commerciële/industriële ontwikkeling	Hoge waarde	1	Lage waarde	-1
Potentieel verlies aan arbeid	Hoog	1	Laag	-1
Platteland/stedelijk gebied	Gemiddeld veel stedelijk gebied in oppervlak	1	Vice versa	-1
Verlies infrastructuur en <i>lifelines</i>	Uitgebreide infrastructuur	1	Vice versa	-1
Populatiegroei	Snelle groei	1	Vice versa	-1
Medische diensten	Gemiddeld weinig medische diensten	1	Vice versa	-1
<i>Social dependence</i>	-	-	-	-
<i>Special needs population</i>	Gemiddeld veel gehandicaptenzorg	1	Vice versa	-1

Tabel 4.3.1; invloeden a.d.h.v. hypothesen over de invloed van de parameters op *vulnerability*

#### 4.4 Risk

---

Om de methode te kunnen testen lijkt het verstandig de analyses in eerste instanties uit te voeren binnen een kleiner afgebakend gebied (kleine *extent*). Op die manier kunnen eventuele fouten makkelijker herkend worden en zijn berekeningen minder groot. Daarnaast kan dan geprobeerd worden zo gedetailleerd mogelijke data te vinden. Een gebied dat gebruikt zou kunnen worden voor de uitvoer van de analyse is bijvoorbeeld de Veluwe. Dit is een redelijk aaneengesloten natuurgebied waarbinnen natuurbranden kunnen ontstaan en waarbij de grenzen van het studiegebied makkelijk aan te geven zijn. Binnen de GIS-software zal gebruik gemaakt moeten worden van een rasteromgeving. Dit is met name handig met het oog op berekeningen die gedaan moeten worden tussen verschillende datasets. Er kunnen met behulp van bijvoorbeeld de rastercalculator vrij gemakkelijk verschillende data gecombineerd worden of juist onderscheiden worden. Als suggestie voor de resolutie wordt 50 meter bij 50 meter aangehouden. Aangezien men in eerste instantie de analyses binnen de Veluwe uit zou willen voeren is dit een handzame maat, die veel detail creëert. Een tweede reden is afgeleid uit Riemsdijk van & Stork (2012), door wie in een analyse naar de leefbaarheid van een gemeente ook gebruik is gemaakt van deze resolutie. Zoals beschreven in de voorgaande paragraaf zullen de data omgezet moeten worden naar een raster. Er wordt gekozen voor een aanpak die zoveel mogelijk grove data (vector of raster) gelijk verspreidt over een gedetailleerde resolutie, in plaats van een aggregatie te nemen van gedetailleerde data. Hiermee is de berekening minder accuraat, maar dit is beter dan dat kwaliteitsdata verloren gaat aangezien er gewerkt zou worden met grovere data. De zeer gedetailleerde data (zoals de AHN met een resolutie van 1 bij 1 meter) zullen wel aangepast moeten worden aan de resolutie van vijftig bij vijftig meter. Telkens als data gecombineerd worden, moet er uitgegaan worden van dit principe, zodat men met een hoog detailniveau kan blijven werken. Wel moet constant bijgehouden worden wat de resolutie is geweest van de verschillende datasets, om eventuele afwijkende resultaten wellicht te kunnen verklaren (metadata bijhouden).

De eerste stap in de analyse is het achterhalen van een waarde voor *hazard*. Per cel moet er een kans op het voorkomen van een natuurbrand worden ingeschat, op basis van de gevonden parameters. Door zoveel mogelijk historische informatie te verzamelen over de locatie en de grootte van een brand, moet men in staat zijn dit weer te kunnen geven in het studiegebied. Ook hier zullen vectordata omgezet moeten worden naar rasters. Vervolgens moet de informatie van de locatie worden vergeleken met de historische staat van de parameters op diezelfde locatie, in diezelfde cellen. Door het voorkomen van een brand als afhankelijke variabele te beschouwen, kan berekend worden in welke mate de verschillende parameters (verklarende/onafhankelijke variabelen) het voorkomen van de brand verklaren, door het gebruik van een statistische multivariate analyse. Hieruit volgt dan een set aan parameters die gekoppeld kunnen worden aan het voorkomen van een brand.

Nu kan voor elke cel bekeken worden wat de staat is van de parameters, en aan de hand daarvan uitgerekend worden (relatief t.o.v. historische set aan parameters) wat de kans is op het voorkomen van een natuurbrand per jaar.

De tweede hoofdstap in het samenbrengen van de drie termen is de identificatie van de term *exposure*. Zoals eerder beschreven is ervoor gekozen om voor twee parameters te kiezen die de huidige en fysieke waarden in een gebied weergeven. Hiermee kan makkelijker een objectief en kwantitatief beeld geschetst worden van de term *exposure*. Uiteindelijk moet uitgekomen worden op een waarde per cel, die vermenigvuldigd kan worden met de kans van voorkomen, zodat de consequenties per jaar duidelijk worden. Per cel moet bekeken worden wat aanwezig is, in de vorm van perceelgrootte, de waarde van een perceel, de waarde van een woning en welke maatregelen getroffen zijn om de *hazard* te verkleinen. Alleen de maatregelen die invloed hebben op de woning (structuur van een woning) kunnen worden meegenomen, aangezien deze invloed zullen hebben op de waarde. De mitigatiemaatregelen als het kappen van bomen en regelmatig maaien van gras blijken geen of een negatieve relatie te hebben tot *exposure* (Collins, 2009) en deze zijn niet direct in een waarde uit te drukken. Nu dienen de termen *hazard* en *exposure* samengevoegd te worden zodat er per cel de *consequences per year* aangegeven kunnen worden (in €/jaar). Dit kan bereikt worden door de volgende formule te volgen:

$$\text{Hazard (1/year)} * \text{Exposure (€)} = \text{consequences per year (€/year)}$$

Hierboven is de kans op het voorkomen van een natuurbrand op eens per jaar gesteld. De waarden voor de *consequences per year* dienen gestandaardiseerd te worden tussen nul en tien (delen door maximale waarde, vermenigvuldigen met tien). Zo kan gemakkelijker aangegeven worden waar de consequenties hoger of lager zullen zijn. Ook kan hiermee de combinatie gezocht worden met *vulnerability*, als dezelfde manier van standaardisering gehanteerd wordt.

Stap drie in de analyse is de operationalisering van de term *vulnerability*. Er worden aan de hand van verschillende hypothesen scores gegeven aan de parameters die van invloed zijn op de term *vulnerability* (gebaseerd op de methode van brandbaarheid scores in (Bootsma & van Riemsdijk, 2013)). Alle rastercellen binnen een gemeente zullen dezelfde scores krijgen, gebaseerd op de staat van de parameters. Aangezien er meerdere gemeenten binnen het gebied van de Veluwe vallen, zullen er groepen cellen met verschillende waarden voor *vulnerability* ontstaan. Hiermee kan een bepaalde mate van onderscheidt gemaakt worden binnen de Veluwe. De scores voor *vulnerability* dienen gestandaardiseerd te worden tussen nul en tien, voor de vergelijking met *Hazard\*Exposure*.

Zoals eerder aangegeven zijn de maxima voor *vulnerability* -19 en +19, waarin de eerste representatief is voor een lage kwetsbaarheid en de tweede voor een hoge. Om de waarden tussen nul en tien te standaardiseren, dient de volgende berekening uitgevoerd te worden. Voor de uitleg zal een voorbeeld gebruikt worden, met als aanname dat alle waarden van -19 tot +19 tot de scores van de rastercellen behoren.

- a) -19, -18, -17, ..., 0, ..., 17, 18, 19 is de reeks mogelijke getallen voor de cellen
  - i. Berekening 1: reeks +19
- b) 0, 1, 2, ..., 19, ..., 36, 37, 38 is de nieuwe reeks getallen voor de cellen
  - i. Berekening 2: reeks ÷38
- c) 0, 0.026, 0.053, ..., 0.5, 0.947, 0.974, 1 is de reeks gestandaardiseerd tussen nul en één
  - i. Berekening 3: reeks \*10
- d) 0, 0.26, 0.53, ..., 5, 9.47, 9.74, 10 is de reeks gestandaardiseerd tussen nul en tien

De eerste berekening is afhankelijk van de laagste score die in eerste instantie gegeven is aan een cel. Deze waarde is bepalend voor het getal die bij de reeks wordt opgeteld en vervolgens ook voor het getal waardoor de reeks gedeeld wordt om tussen nul en een uit te komen. Deze methode is afgeleid uit Riemsdijk van & Stork (2013), waar ook van standaardisering gebruik gemaakt is om scores te geven aan verschillende gebieden (Riemsdijk van & Stork, 2012). Ter verduidelijking staat in de bijlage nog een voorbeeld uitgewerkt (bijlage vijf).

In algemene termen ziet de formule er als volgt uit:

- a) (Reeks  $x'y'$ ): (Reeks  $xy$ ) +  $\text{abs}(x)$
- b) (Reeks  $xy$ )': (Reeks  $x'y'$ )  $\div y'$
- c) (Reeks  $xy$ )'': (Reeks  $xy$ )''\*10

Met  $\text{abs}(x)$ : de absolute waarde van het laagste getal uit de reeks, zodat deze hoe dan ook positief is  
 En  $y'$ : het hoogste getal uit de tweede reeks, voor de standaardisering tussen nul en één

De laatste stap is het vergelijken van de *consequences per year* met de *vulnerability scores* per cel. Aangezien beide geïnclassificeerd zijn tussen nul en tien, kan de combinatie van de twee makkelijk worden weergegeven. Om de twee datasets met elkaar te kunnen combineren en nog steeds te kunnen achterhalen wat de combinatie is, kan er gebruik gemaakt worden van de volgende methode (Bootsma & van Riemsdijk, 2013).

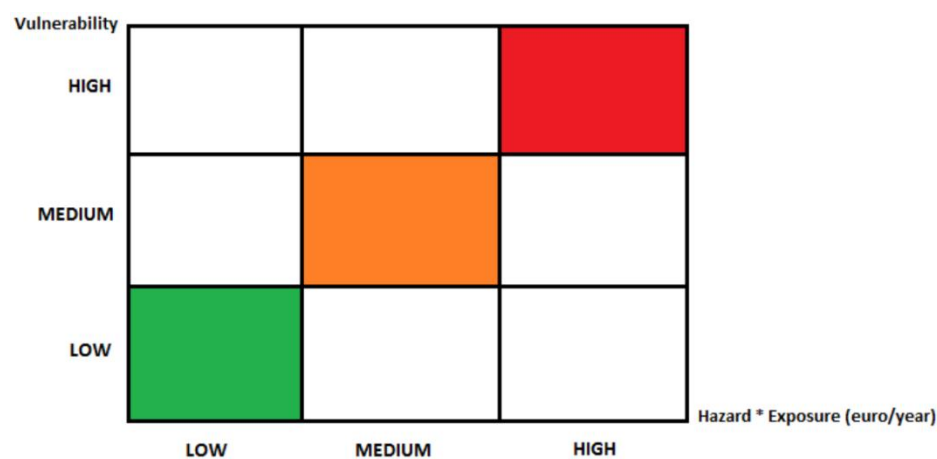
a) Combination = (100 \* consequences/yr) + (1 \* vulnerability score)

- i. Bijvoorbeeld: C/yr = 8 (waardevolle assets in cel) V = 2 (kwetsbaarheid)

$$\text{Combination} = (100*8) + (1*2) = 802$$

Hierin is de waarde voor de consequenties en die voor kwetsbaarheid te achterhalen. Het getal 802 moet hier gezien worden als een soort code, waarin het eerste getal staat voor de mate van aanwezige waarden in een gebied en de laatste twee getallen voor de mate van kwetsbaarheid.

Op deze manier ontstaat er een waarde per cel waaruit af te leiden is wat de consequenties per jaar zijn en hoe kwetsbaar een cel is. Hierna kan een classificatie gemaakt worden waarin bepaald wordt wat onder lage, middel en hoge consequenties alsmede kwetsbaarheid valt. De matrix hieronder illustreert dit principe (figuur 4.4.1).



Figuur 4.4.1 matrix waar *vulnerability* wordt afgezet tegen de *consequences per year*



Een combinatie van *Low vulnerability* en *Low Hazard\*Exposure* in een cel geeft aan dat het risico lager is dan in een cel met bijvoorbeeld *High vulnerability* en *High Hazard\*Exposure*. Hiermee kunnen cellen met een verhoogd of een verlaagd risico aangegeven worden.

Als blijkt dat de methode goed toepasbaar is op het niveau van de Veluwe, kan men proberen de analyse voor heel Nederland uit te voeren. Dit houdt in dat de *extent* van de analyse, zo groot als Nederland wordt. De resolutie kan nog steeds op vijftig bij vijftig meter blijven staan, aangezien de tussenstap van het verspreiden van de waarden van de gemeenten over de rastercellen hier niks aan verandert. Ook de tijdfactor zal beschouwd moeten worden. Zoals hier beschreven ligt de focus van de methode op één bepaald moment in de tijd. Om de ontwikkeling in de klimaatparameters en die in het landgebruik aan te kunnen geven, kan er gebruik gemaakt worden van scenario's. Zo kan men gebruik maken van de zogenaamde 'ruimtescanner', waarmee toekomstig landgebruik in Nederland onder verschillende scenario's kan worden weergegeven (SPINlab VU University Amsterdam, 2012). Wat betreft de klimaatvoorspellingen kan men gebruik maken van rapporten van het IPCC die zijn ontwikkeld (zoals in: (Alcamo, et al., 2007)). Zo kan men proberen een inschatting te maken voor de veranderingen in de weersomstandigheden. Voor de kwalitatieve parameters zal onderzocht moeten worden voor welke periode de uitkomsten gebruikt kunnen worden. Het lijkt hoe dan ook verstandig de analyse met regelmaat te vernieuwen en up-to-date te houden.

## 5. Conclusie

---

In dit hoofdstuk zal antwoord gegeven worden op de in dit onderzoek gebruikte onderzoeksvraag: 'Hoe kan de formule  $\text{Risk} = \text{Hazard} * \text{Exposure} * \text{Vulnerability}$  worden geoperationaliseerd, om het risico op natuurbranden in Nederland het best te kunnen benaderen?'

Er is een aantal stappen dat gezet dient te worden om de formule te operationaliseren om het risico van natuurbranden in Nederland te kunnen bepalen. Ten eerste dienen alle parameters die invloed hebben op de drie termen in de formule uiteengezet te worden. Door uit te gaan van andere onderzoeken kan men veel tijd besparen door de belangrijkste parameters over te nemen en te gebruiken in de analyse. Het verschil tussen gebieden zal voornamelijk gemaakt worden door verschillende invulling van de parameters. Er zal gewerkt moeten worden in een rasteromgeving in een (in eerste instantie) kleiner afgebakend gebied, zoals de Veluwe, met een *cellsize* van vijftig bij vijftig meter. Zo kan gemakkelijk achterhaald worden dat er eventuele fouten gemaakt worden en kan men proberen zoveel mogelijk detail in de analyse te leggen. Per cel moet achterhaald worden wat de kans op het voorkomen van een natuurbrand is (*hazard*), door historische voorkomens te vergelijken met de toenmalige staat van de parameters, op dezelfde locatie.

Vervolgens moet voor elke cel de huidige staat van de parameters bekeken worden, zodat aangegeven kan worden wat de kans is op het voorkomen van een natuurbrand. Hierna moet per cel aangegeven worden wat de mate *exposure* is, door te bepalen wat de waarde is van een cel, gebaseerd op de huidige fysieke waarden die aanwezig zijn. Hiermee kan vervolgens het eerste deel van de formule worden ingevuld, door de kans van voorkomen per jaar te vermenigvuldigen met de waarden aanwezig in een cel. Hieruit volgt de hoeveelheid *consequences per year* per cel in euro's per jaar. Vervolgens moet de staat van *vulnerability* bepaald worden, door scores te geven per parameter, gebaseerd op de hypothetische invloed die de parameter heeft op de term *vulnerability*. Door zowel *consequences per year* als *vulnerability* te standaardiseren tussen nul en tien, kunnen de termen met elkaar vergeleken worden. Hiervoor kan men een vergelijkingsmatrix opstellen waarin per cel duidelijk wordt wat de combinatie van *consequences per year* en *vulnerability* is. Cellen met zowel lage consequenties als een lage kwetsbaarheid hebben een lager risico voor natuurbranden dan cellen met hoge consequenties en een hoge kwetsbaarheid.

De analyse kan vervolgens voor heel Nederland uitgevoerd worden, waarbij per gemeente bekeken kan worden wat de staat is van de drie termen, waarmee het risico aangegeven kan worden.

Er moet ook rekening gehouden worden met de tijdsfactor, aangezien er veranderingen bestaan in de klimaat/weersvariabelen en het landgebruik. Door gebruik van modellen (bijvoorbeeld de ruimtescanner) die de landgebruiksveranderingen aangeven en die klimaatveranderingen (en de invloed hiervan op de weersomstandigheden) weergeven.

## 6. Discussie

---

Het belangrijkste punt dat behandeld moet worden is het doel van het onderzoek. Geprobeerd is een allesomvattende methode te beschrijven waarmee men zowel de kans op een brand, de consequenties van een brand en de kwetsbaarheid voor een brand kan samenbrengen om het risico van een brand te kunnen omschrijven. Hierbij komt dat het een beschrijvende analyse betreft, waarin nog niet wordt bewezen dat de analyse werkt. Het doel van de thesis is dan ook een aanzet te geven tot het uitvoeren van een risicoanalyse voor natuurbranden in Nederland op de beschreven manier, in plaats van één van de componenten van de methode daadwerkelijk uit te voeren (in GIS) en de bevindingen te beschrijven. Het valt op dat in de literatuur betreffende het onderwerp, vaak de nadruk wordt gelegd op een bepaald onderdeel (vanwege de omvang van het onderwerp).

Discussiepunten betreffende de beschrijvende analyse hebben te maken met de parameters, de suggestie die gedaan is voor de overkoepelende analyse, het detailniveau van de data, de statistiek en de praktische toepassing in het veld. De parameters zijn overgenomen uit internationale literatuur om ervoor te zorgen dat er sprake is van universele en uitwisselbare parameters. Het verschil tussen gebieden wordt hierbij niet gemaakt door de toevoeging of het verwijderen van parameters, maar door de wijze waarop de parameters worden ingevuld. Zo kan men voor elk gebied uitgaan van dezelfde parameters om vervolgens hierop gebaseerd onderscheid te maken. Of de methode universeel gebruikt kan worden is afhankelijk van de resultaten mocht de methode getest worden.

Een opmerking voor het testen van de methode is dat in Nederland de informatie over historische branden minimaal is. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden als de analyse uitgevoerd zou worden. Wellicht is de informatie wel aanwezig, maar is deze niet meteen openbaar. Het is cruciaal dat zoveel mogelijk historische data gevonden wordt en gebruikt wordt. Een reden dat er geen historische data gedocumenteerd zijn, zou kunnen zijn dat de gevolgen van natuurbranden tot nu toe niet heel extreem zijn geweest. Om het vergelijk met overstromingen aan te houden; er zijn veel maatregelen getroffen sinds de watersnood in 1953. Na deze ramp werd besloten dat het risico zodanig was, dat er geïnvesteerd moest worden in onderzoek en de uitvoer van maatregelen. Kort door de bocht genomen kan gesteld worden dat als er geen natuurbrand met voldoende slachtoffers en gevolgen plaatsvindt, het onderzoek naar natuurbranden in Nederland tot een minimum beperkt zal blijven. Aangezien het niet de bedoeling kan zijn te wachten op zo een gebeurtenis, is het zaak op dit moment te onderzoeken waar in Nederland het risico verhoogd is, waarna bepaald kan worden of en welke maatregelen genomen zouden moeten worden. Hierbij zou data verzameld en bijgehouden moeten worden.

De suggestie die gedaan is voor de analyse om tot *Risk* te komen wijkt af van de standaard. Dit komt, omdat er wordt uitgegaan van een specifieke formule die gebruikt wordt in een ander wetenschappelijk veld, namelijk dat van overstromingsrisico. De suggesties zijn gebaseerd op ervaring opgedaan in eerdere projecten binnen de bachelor Aarde en Economie. Zo is er een stage gevolgd binnen de Nationale GI-minor, zijn veldwerken uitgevoerd binnen de bachelor en zijn praktische opdrachten uitgevoerd voor vakken van de bachelor, welke allen GIS en aarde en economie koppelden. Het is dus geenszins het geval dat de technieken zelf zijn verzonden, maar er kon ook geen directe bron voor opgesteld worden.

De kwalitatieve variabelen voor de term *exposure* kunnen pas naar behoren worden meegenomen nadat de invloeden uitvoerig zijn onderzocht. Zo wordt in een later stadium ook de subjectieve kant van risico meegenomen in de analyse.

Er wordt in dit onderzoek niet ingegaan op de specifieke statistische methoden die gebruikt worden voor de beschrijving van de termen in de formule. Dit is een bewuste keuze geweest, met het oog op de grootte van het onderzoek en de beschikbare tijd. Een suggestie voor vervolgonderzoek zou zijn de methode die gebruikt is om de parameters te beschrijven gedetailleerd te onderzoeken, zodat nog beter beschreven kan worden welke keuzes men moet maken als het gaat om de te beschouwen parameters.

Als het gaat om de praktische toepassing van dit onderzoek moet er gedacht worden aan vervolgonderzoeken die beschrijven hoe de analyse vertaald kan worden en bruikbaar gemaakt kan worden voor bijvoorbeeld natuurbrandbestrijders in het veld. Door voornamelijk visualisatie mogelijkheden te onderzoeken kan bepaald worden welke stappen gezet moeten worden om praktisch risicogebieden aan te geven en te bepalen wanneer welke acties ondernomen zouden moeten worden. Dit wordt vanzelfsprekend pas mogelijk als de beschreven methode uitgebreid getest is.

## 7. Bibliografie

---

- Ager, A., Buonopane, M., Reger, A., & Finney, M. (2012). Wildfire Exposure Analysis on the National Forests in the Pacific Northwest, USA. *Risk Analysis*. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01911.x.
- Alcamo, J., Moreno, J., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R., et al. (2007). *Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Amatulli, G., Pérez-Cabello, F., & de la Riva, J. (2007). Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological Modeling*, 321-333.
- Andrey, J., & Jones, B. (2008). The dynamic nature of social disadvantage: implications for hazard exposure and vulnerability in Greater Vancouver. *The Canadian Geographer*, 146-168.
- Archibald, S., Roy, D., Van Wilgen, B., & Scholes, R. (2009). What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Global Change Biology*, 613-630.
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 1251-1262.
- Bijlsma, R., & Griffioen, A. (2008). *Een nieuwe vegetatiekaart (2006) en een Natura 2000 habitatkaart van de Hoge Veluwe*. Wageningen: Alterra.
- Boo, G. (2013). *Forest Fire Management and GIS Modeling, Design and implementation of a forest fire risk management system for the Swiss canton of Valais*. Amsterdam: Vrije Universiteit.
- Bootsma, B., & van Riemsdijk, M. (2013). *Bodem en water; de strijd tegen het vuur*. Vrije universiteit Amsterdam: Niet gepubliceerd.
- Brinkman, W. (1979). Growing season length as an indicator of climatic variations? *Climatic Change*, 127-138.
- Cardille, J., Ventura, S., & Turner, M. (2001). Environmental and social factors influencing wildfires in the upper midwest, United States. *Ecological Applications*, 111-127.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2013, april 5). *CBS Statline Centraal bureau voor de Statistiek*. Opgeroepen op mei 29, 2013, van CBS Statline Centraal bureau voor de Statistiek: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=37296ned&D1=68&D2=a&STB=T,G1&VW=T>
- Collins, T. W. (2009). Influences on Wildfire Hazard Exposure in Arizona's High Country. *Society & Natural Resources: An International Journal*, 211-229.
- Cutter, S., Boruff, B., & Shirley, W. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 242-261.
- de la Riva, J., Pérez-Cabello, F., Lana-Renault, N., & Koutsias, N. (2004). Mapping wildfire occurrence at regional scale. *Remote Sensing of Environment*, 363-369.
- de Moel, H. (2012). *Uncertainty in Flood Risk*. Zutphen: Wöhrmann Print Service.
- Hidalgo, C. M., & Hernandez, B. (2001). Place attachment: conceptual and empirical questions. *Journal of Environmental Psychology*, 273-281.
- Hoeken, H. (2001). Anecdotal, Statistical, and Causal Evidence: Their Perceived and Actual Persuasiveness. *Argumentation*, 425-437.
- Huntington, H. P. (2000). Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecological applications*, 1270-1274.
- Kadaster. (2013). *Kadasterdata.nl*. Opgeroepen op juni 3, 2013, van Kadasterdata.nl/kadasterdata-kaart: <http://www.kadasterdata.nl/kadasterdata-kaart>
- Kasse, K. (2012). *Bodemkunde . Studiehandleiding bodemkunde*. Vrije Universiteit Amsterdam: n.v.t. .
- KNMI, o. a. (2006, oktober). *Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H10)*. Opgeroepen op mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: [http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H10.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H10.pdf)

- KNMI, o. a. (2006, oktober). *Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H2)*. Opgeroepen op mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:  
[http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H02.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H02.pdf)
- KNMI, o. a. (2006, Oktober). *Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H20)*. Opgeroepen op Mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:  
[http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H20.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H20.pdf)
- KNMI, o. a. (2006, Oktober). *Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H20)*. Opgeroepen op Mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:  
[http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H20.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H20.pdf)
- KNMI, o. a. (2006, Oktober). *Handboek waarnemingen hoofdstukken in PDF (H5)*. Opgeroepen op Mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:  
[http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H05.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H05.pdf)
- KNMI, o. a. (2006, Oktober). *Handboek Waarnemingen hoofdstukken in PDF (H6)*. Opgeroepen op Mei 24, 2013, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:  
[http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek\\_H06.pdf](http://www.knmi.nl/samenw/hawa/pdf/Handboek_H06.pdf)
- Koomen, E. (2013). Analysing Land-use change; The impact of restrictive spatial planning in the Netherlands. *lecture 2-2* (p. powerpoint presentatie 4 pagina's). Amsterdam: n.v.t. niet gepubliceerd.
- Kron, W. (2009). Flood insurance: from clients to global financial markets. *Journal of Flood Risk Management*, 68-75.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*. Anaheim, California: Department of Atmospheric Science, Colorado State University.
- McKenney, D., Papadopol, P., Lawrence, K., Campbell, K., & Hutchinson, M. (2007). Customized spatial climate models for Canada. *Frontline Forestry Research Applications*, n.b.
- Moritz, M., Morais, M., Summerell, L., Carlson, J., & Doyle, J. (2005). Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102.
- Myers, H. F. (2009). Ethnicity- and socio-economic status-related stresses in context: an integrative review and conceptual model. *Journal of Behavioral Medicine*, 9-19.
- Nazroo, J. Y. (1998). Genetic, cultural or social-economic vulnerability? Explaining ethnic inequalities in health. *Sociology of Health & Illness*, 710-730.
- Parisien, M., & Moritz, M. (2009). Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological Monographs*, 127-154.
- Parisien, M., Snetsinger, S., Greenberg, J., Nelson, C., Schoennagel, T., Dobrowski, S., et al. (2012). Spatial variability in wildfire probability across the western United States. *International Journal of Wildland Fire*, 313-327.
- Parisien, M., Snetsinger, S., Greenberg, J., Nelson, C., Schoennagel, T., Dobrowski, S., et al. (2012). Spatial variability in wildfire probability across the western United States. *International Journal of Wildland Fire*, 313-327.
- Radeloff, V., Hammer, R., Stewart, S., Fried, J., Holcomb, S., & McKeefry, J. (2005). The Wildland-Urban Interface in the United States. *Ecological Applications*, 799-805.
- Riemsdijk van, M., & Stork, C. (2012). *PPDAC-rapport Enschede; Een onderzoek naar de leefbaarheid van Enschede*. Amsterdam: n.v.t. Niet gepubliceerd, opdracht voor Nationale GI-minor.
- Rijkswaterstaat Data en ICT Dienst. (2012, November 1). *NGR Nationaal Georegister*. Opgeroepen op Mei 24, 2013, van [nationaalgeoregister.nl](http://www.nationaalgeoregister.nl):  
<http://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/search?#|f4d65afe-959f-4505-8433-04f43757cee6>
- Rijkswaterstaat, D. (2009, Januari 1). *NGR Nationaal GeoRegister*. Opgeroepen op Mei 27, 2013, van [www.nationaalgeoregister.nl](http://www.nationaalgeoregister.nl):  
<http://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/metadata.show?uuid=b9dd8575-3c1c-41f4-add5-c4f5f2b67180>

- Schoennagel, T., Veblen, T., & Romme, W. (2004). The interaction of fire, fuels and climate across Rocky Mountain forests . *Bioscience* 54, 661-676.
- Smith, E., Szidarovsky, F., Karnavas, W., & Bahill, A. (2008). Sensitivity Analysis, a Powerful System Validation Technique. *The Open Cybernetics and Systemics Journal*, 39-56.
- SPINlab VU University Amsterdam. (2012). *Land Use Scanner exercise and assignment*. Amsterdam: n.v.t. niet gepubliceerd.
- Tobin, G., & Burrell, E. (1997). *Natural hazards: explanation and integration*. New York: The Guilford Press.
- van Gulik, A. (2008). *Natuurbrand, een onderschat risico*. Delft: uitgever onbekend.
- Vrije Universiteit . (2013, actueel actueel). *Geoplaza*. Opgeroepen op juni 25, 2013, van Geoplaza.ubvu.vu.nl:  
<http://geoplaza.ubvu.vu.nl/cdm/singleitem/collection/gpz/id/228/rec/1>
- Zhao, M., Heinsch, F., Nemani, R., & Running, S. (2005). Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 164-176.

## 8. Bijlagen

Bijlage 1: Variabelen gebaseerd op de belangrijkste parameters die *vulnerability* beschrijven, met een korte definitie ter verduidelijking

Variabelen	Defenitie	Bron
Leeftijd	minderjarigen (<18) en senioren (65+)	(Andrey & Jones, 2008)
Geslacht	Vrouw/man	(Andrey & Jones, 2008)
Huishoudencompositie	Weduwe, 1 ouder, 1 ouder (vrouw), 1 persoon, groot huishouden (>6 personen)	(Andrey & Jones, 2008)
Staatsburgerschap	Geen Nederlands staatsburger	(Andrey & Jones, 2008)
Etniciteit	Taalbarrières	(Andrey & Jones, 2008)
Educatieniveau	Hoog of laag educatieniveau	(Andrey & Jones, 2008)
Financiële gesteldheid	Uitkering, laag, gemiddeld inkomen	(Andrey & Jones, 2008)
Werkloos	Wel of geen baan	(Andrey & Jones, 2008)
Waarde van een huis		(Andrey & Jones, 2008)
Huurder		(Andrey & Jones, 2008)
Socio-economische status	Inkomen, politieke macht, prestige	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Commerciële/industriële ontwikkeling	Waarde, kwaliteit, dichtheid commerciële/industriële gebouwen	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Potentieel verlies aan arbeid	Mogelijk verlies aan arbeid als gevolg van een gebeurtenis	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Platteland/stedelijk gebied		(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Verlies infrastructuur en <i>lifelines</i>	Rioolstelsel, bruggen, waterwegen, communicatie, transport	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Populatiegroei		(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Medische diensten	Gezondheidsinstanties; ziekenhuis, verzorgingshuis, apotheker	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
<i>Social dependence</i>	Volledige afhankelijkheid van sociale instanties en diensten	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
<i>Special needs population</i>	Geestelijk/fysiek gehandicapten, daklozen	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)



Bijlage 2: Vervolg variabelen gebaseerd op de belangrijkste parameters die *vulnerability* beschrijven, met een korte beschrijving van de invloed op *vulnerability*

Variabelen	Hazard vulnerability	Bron
Leeftijd	Familie wacht op alle kinderen voor evacuatie, ouderen minder fit en mobiel	(Andrey & Jones, 2008)
Geslacht	Als vrouwen minder verdienen kan dat invloed hebben op herstel van <i>hazard</i>	(Andrey & Jones, 2008)
Huishoudencompositie	Verschil in financiën, sociale netwerken wat herstel kan beïnvloeden	(Andrey & Jones, 2008)
Staatsburgerschap	Welke en hoeveel hulp krijgt iemand die geen Nederlander is?	(Andrey & Jones, 2008)
Etniciteit	Bemoeilijkt de communicatie in geval van een gebeurtenis	(Andrey & Jones, 2008)
Educatieniveau	Begrip van waarschuwingen en financiële gesteldheid spelen een rol	(Andrey & Jones, 2008)
Financiële gesteldheid	Invloed op herstel; schadereparaties, aanschaf basisvoorzieningen	(Andrey & Jones, 2008)
Werkloos	Invloed op financiële gesteldheid	(Andrey & Jones, 2008)
Waarde van een huis	Huizen met een lage waarde hebben soms geen verzekering	(Andrey & Jones, 2008)
Huurder	Afhankelijk van de verhuurder voor reparaties	(Andrey & Jones, 2008)
Socio-economische status	Meer vermogende gemeenschappen herstellen makkelijker door sociale vangnetten en verzekeringen	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Commerciële/industriële ontwikkeling	Indicatie van economische gezondheid van een gemeenschap	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Potentieel verlies aan arbeid	Toename van werkloosheid heeft invloed op de snelheid van herstel	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Platteland/stedelijk gebied	Platteland in het algemeen armer, stedelijk gebied moeilijk te evacueren	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Verlies infrastructuur en <i>lifelines</i>	Moeilijk opnieuw op te bouwen voor kleinere gemeenschappen vanwege hoge kosten	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Populatiegroei	Hoe groter de groei, hoe meer kans op lage kwaliteit huizen en een onderontwikkeld sociaal netwerk	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
Medische diensten	Zonder deze instanties wordt de herstelperiode verlengd	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
<i>Social dependence</i>	Mensen die al volledig afhankelijk zijn van sociale hulp, zullen meer hulp nodig hebben	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)
<i>Special needs population</i>	In geval van het tot uiting komen van een hazard is er extra hulp nodig	(Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)

### Bijlage 3: *vulnerability* parameters met de soorten data

Variabelen	Data
Leeftijd	Aantallen <20, 20-65, 65+ jaar oud per gemeente
Geslacht	Aantallen Man/Vrouw per leeftijd per gemeente
Huishoudencompositie	Via Woningen; hoofdbewoner, huishouden --> Samenstelling en grootte van huishouden
Staatsburgerschap	Aantallen nationaliteiten per gemeente
Etniciteit	Geen etniciteit, wel nationaliteit, allochtoon/autochtoon, zie ook voorgaand
Educatieniveau	Educatieniveau aantal studenten naar woongemeente
Financiële gesteldheid	Aantallen uitkeringen per maand, per jaar, per gemeente
Financiële gesteldheid	Aantallen laag, middel, hoge inkomens a.d.h.v. rangnr's van gemeenten (rangnr 1 hoogste inkomens)
Werkloos	Werkloze beroepsbevolking 2009/2011 per gemeente
Waarde van een huis	Eruit gelaten, zit in exposure en de reden zou zijn dat goedkope huizen geen verzekering zouden hebben
Huurder	Alleen info over huurhuizen in gemeenten met >100000 inwoners
Socio-economische status	Alleen uitgaan inkomen (political power/prestige niet te kwantificeren)
Commerciële/industriële ontwikkeling	Aantal vestigingen per bedrijfstak per gemeente, dus wel dichtheid
Commerciële/industriële ontwikkeling	Geen waarde, alleen data over productie in mln euro's voor alle sectoren per vestigingsgrootte per provincie
Potentieel verlies aan arbeid	Beroepsbevolking per gemeente; geeft aantal werkenden per gemeente, dus ook potentieel verlies aan banen
Platteland/stedelijk gebied	Rural eruit, gebaseerd op inkomen (zie fin.gest.), Urban wel --> LGN6, landgebruik zit ook stedelijk gebied in
Verlies infrastructuur en <i>lifelines</i>	Wegennetkaart gebruiken, per gemeente aantal kilometers berekenen, maat voor de dichtheid
Populatiegroei	Per maand, per jaar de beginwaarde van de bevolkingsdichtheid en bevolkingsgroei per gemeente
Medische diensten	Wel info over hoeveelheid en in welk jaar, maar geen locatie
<i>Social dependence</i>	Wel of geen uitkering
<i>Special needs population</i>	Gehandicaptenzorginstellingen NL, 4 grote gemeenten, overige gemeenten, 2004-2009

#### Bijlage 4: Eventuele aanpassingen aan *vulnerability* data

Variabelen	Aanpassingen
Leeftijd	-
Geslacht	-
Huishoudencompositie	-
Staatsburgerschap	-
Etniciteit	Uitgaan van nationaliteiten
Educatieniveau	Bepalen welke educatieniveau past binnen laag, middel en hoog niveau
Financiële gesteldheid	-
Financiële gesteldheid	-
Werkloos	-
Waarde van een huis	-
Huurder	Inventarisatie maken van huurhuizen per gemeente
Socio-economische status	Zie financiële gesteldheid
Commerciële/industriële ontwikkeling	-
Commerciële/industriële ontwikkeling	Wellicht evenredig verdelen over gemeenten in PV's
Potentieel verlies aan arbeid	-
Platteland/stedelijk gebied	Landgebruikskaart gebruiken voor identificatie stedelijk gebied
Verlies infrastructuur en <i>lifelines</i>	Aantal kilometers per gemeente als maat voor dichtheid wegennet
Populatiegroei	-
Medische diensten	Inventarisatie per gemeente maken
<i>Social dependence</i>	Social dependence niet als aparte parameter meenemen in analyse
<i>Special needs population</i>	Inventarisatie per gemeente moet gemaakt worden

Bijlage 5: Voorbeeld standaardisering van *vulnerability* scores gegeven aan groepen cellen

---

Vulnerability scores (1)		
-19	0	7
3	-7	19
-1	19	-4

De reeks is: -19, -7, -4, -1, 0, 1, 3, 7, 19

Berekening 1: reeks +19 (want -19 is het laagste getal)

Vulnerability scores (2)		
0	19	26
22	12	38
18	20	15

De reeks wordt: 0, 12, 15, 18, 19, 20, 22, 26, 38

Berekening 2: reeks ÷38 (want 38 is het hoogste getal)

Vulnerability scores (3)		
0,00	0,50	0,68
0,58	0,32	1,00
0,47	0,53	0,39

De reeks wordt: 0.00, 0.32, 0.39, 0.47, 0.50, 0.53, 0.58, 0.68, 1.00

Berekening 3: reeks \*10

Vulnerability scores (4)		
0	5	7
6	3	10
5	5	4

De reeks wordt: 0, 3, 4, 5, 5, 5, 6, 7, 10

Bijlage 6: Tabel met invloeden van parameters *vulnerability* (1) (Andrey & Jones, 2008)

**Table 1**  
Variables used in the principal component analysis

Variable label	Operational definition	Justification for inclusion	
		Social disadvantage	Hazard vulnerability <sup>a</sup>
Youth	Population aged 19 and younger	Minors under the law	E/F: Families often wait to locate all children before evacuating N: Young children are susceptible to noise-related development problems
Seniors	Population aged 65 and older	Fixed incomes	E/F: Age-related health and mobility restrictions pose challenges in evacuation situations; limited financial reserves limit access to some forms of aid N: Income could limit location choice
Widows	Population whose spouse is deceased	Loss of spouse can limit social networks	E/F: Limited social networks influence evacuation response rates
Female	Female population	Reported gender differences in income in Canada	E/F: Could limit financial resources for recovery and access to some forms of financial aid following event N: Could limit access to specialized health care resources
One parent	Single-parent families	More likely to live in poverty than two-parent families in CMA	E/F: Could limit financial resources for recovery and access to some forms of financial aid following event N: Financial resources may limit access to specialized health care resources or choice of where to live
One parent (mom)	Single-parent families headed by a woman	Income disparities between genders constrain women's financial resources	E/F: Could limit financial resources for recovery and access to some forms of financial aid following event N: Financial resources may limit access to specialized health care resources or choice of where to live
Live alone	One-person private households	Assume all financial responsibilities	E/F: Could limit financial resources for recovery; could limit access to information about evacuations/shelters N: Financial resources may limit access to specialized health care resources or choice of where to live
Big household	Large private households (>6 people)	Financial constraints in large families	E/F: Could pose challenges finding short-term residency during rebuilding phase; Families often wait to evacuate as a group N: May limit financial resources for specialized medical care
Non-citizen	Population without Canadian citizenship	Limits employment opportunities	E/F: Limits access to some forms of financial aid following event N: Could limit access to specialized health care resources; limits choice of where to live and political power to restrict industrial development in neighbourhood
Chinese	Chinese population <sup>1</sup>	Dominant sub-ethnic group in the CMA; associated with differences in affluence depending on year of immigration	E/F: Access to information or timeliness of evacuation may be challenged by language barriers N: Access to information or medical care may be challenged by language barriers

Continued

Bijlage 6: Tabel met invloeden van parameters *vulnerability* (2) (Andrey & Jones, 2008)

**Table 1**  
Continued.

Variable label	Operational definition	Justification for inclusion	
		Social disadvantage	Hazard vulnerability <sup>6</sup>
Low educ	Population <sup>2</sup> with at most a high school education	Limits upward movement in social status	E/F: Limits ability to rebuild or find alternative residence following event N: Limits access to specialized health care resources and where one can afford to live
High educ	Population <sup>2</sup> with university education	Measure of advantage	E/F: Higher education is often correlated with higher incomes; could enhance ability to rebuild or find alternative residence following event N: Enhances access to specialized health care resources and where one can afford to live
Govt Income	Population with Income from the government <sup>3</sup>	Government income is a measure of dependence on the social safety net	E/F: Limits ability to rebuild or find alternative residence following event N: Limits access to specialized health care resources
Low Income	Private households with low incomes <sup>4</sup>	Income polarization is an issue in the CMA	E/F: Limits ability to rebuild or find alternative residence following event; limits access to property insurance N: Limits access to specialized health care resources
Avg Income	Average household income	Measure of disposable cash	E/F: Income level could limit ability to rebuild or find alternative residence following event N: Limits access to specialized health care resources and choice of residence location
Unemployed	Unemployed labour force <sup>5</sup>	A measure of dependence on the social safety net	E/F: Limits ability to rebuild or find alternative residence following event N: Limits access to specialized health care resources and location of residence
Home value	Average dwelling value	Measure of social status	E/F: Lower-valued properties may not be insured N: Could limit ability to sell property and move to new location
Manufg	Manufacturing labour force <sup>2</sup>	Reflects a blue-collar labour force	E/F: Income level could limit ability to rebuild or find alternative residence following event; less flexibility in job selection N: Income could limit location choice
Renters	Rented private dwellings	No equity in property	E/F: Dependent on property owner to make repairs; no equity (limited insurance value) N: Limited by location of apartments

<sup>1</sup> Defined by ethnic origin in 1986 and 1996 and by visible minority in 2001.

<sup>2</sup> Labour force over the age of 15.

<sup>3</sup> Example: aged-based pensions, unemployment insurance payments, welfare payments.

<sup>4</sup> Defined by Statistics Canada as those who spend more than 54 percent of their income on basic necessities.

<sup>5</sup> Labour force over the age of 25.

<sup>6</sup> E/F: Vulnerability to earthquakes or urban-interface fires—defined in relation to evacuation and/or rebuilding; N: vulnerability to excessive noise—defined in relation to health impacts (in a few cases, a social variable influences vulnerability to only one hazard).

Bijlage 7: Tabel invloeden van parameters op *vulnerability* (1) (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)

TABLE 1

Social Vulnerability Concepts and Metrics

Concept	Description	Increases (+) or Decreases (-) Social Vulnerability
Socioeconomic status (income, political power, prestige)	The ability to absorb losses and enhance resilience to hazard impacts. Wealth enables communities to absorb and recover from losses more quickly due to insurance, social safety nets, and entitlement programs. <i>Sources:</i> Cutter, Mitchell, and Scott (2000), Burton, Kates, and White (1993), Blaikie et al. (1994), Peacock, Morrow, and Gladwin (1997, 2000), Hewitt (1997), Puente (1999), and Platt (1999).	High status (+/-) Low income or status (+)
Gender	Women can have a more difficult time during recovery than men, often due to sector-specific employment, lower wages, and family care responsibilities. <i>Sources:</i> Blaikie et al. (1994), Enarson and Morrow (1998), Enarson and Scanlon (1999), Morrow and Phillips (1999), Fothergill (1996), Peacock, Morrow, and Gladwin (1997, 2000), Hewitt (1997), and Cutter (1996).	Gender (+)
Race and ethnicity	Imposes language and cultural barriers that affect access to post-disaster funding and residential locations in high hazard areas. <i>Sources:</i> Pulido (2000), Peacock, Morrow, and Gladwin (1997, 2000), Bolin with Stanford (1998), and Bolin (1993).	Nonwhite (+) Non-Anglo (+)
Age	Extremes of the age spectrum affect the movement out of harm's way. Parents lose time and money caring for children when daycare facilities are affected; elderly may have mobility constraints or mobility concerns increasing the burden of care and lack of resilience. <i>Sources:</i> Cutter, Mitchell, and Scott (2000), O'Brien and Mileti (1992), Hewitt (1997), and Ngo (2001).	Elderly (+) Children (+)
Commercial and industrial development	The value, quality, and density of commercial and industrial buildings provides an indicator of the state of economic health of a community, and potential losses in the business community, and longer-term issues with recovery after an event.	High density (+) High value (+/-)

Bijlage 7: Tabel invloeden van parameters op *vulnerability* (2) (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)

TABLE 1 — Continued

Employment loss	<p><i>Sources:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000) and Webb, Tierney, and Dahlhamer (2000).</p> <p>The potential loss of employment following a disaster exacerbates the number of unemployed workers in a community, contributing to a slower recovery from the disaster.</p>	Employment loss (+)
Rural/urban	<p><i>Source:</i> Mileti (1999).</p> <p>Rural residents may be more vulnerable due to lower incomes and more dependent on locally based resource extraction economies (e.g., farming, fishing). High-density areas (urban) complicate evacuation out of harm's way.</p> <p><i>Source:</i> Cutter, Mitchell, and Scott (2000), Cova and Church (1997), and Mitchell (1999).</p>	Rural (+) Urban (+)
Residential property	<p>The value, quality, and density of residential construction affects potential losses and recovery. Expensive homes on the coast are costly to replace; mobile homes are easily destroyed and less resilient to hazards.</p> <p><i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), Cutter, Mitchell, and Scott (2000), and Bolin and Stanford (1991).</p>	Mobile homes (+)
Infrastructure and lifelines	<p>Loss of sewers, bridges, water, communications, and transportation infrastructure compounds potential disaster losses. The loss of infrastructure may place an insurmountable financial burden on smaller communities that lack the financial resources to rebuild.</p> <p><i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000) and Platt (1995).</p>	Extensive infrastructure (+)
Renters	<p>People that rent do so because they are either transient or do not have the financial resources for home ownership. They often lack access to information about financial aid during recovery. In the most extreme cases, renters lack sufficient shelter options when lodging becomes uninhabitable or too costly to afford.</p> <p><i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000) and Morrow (1999).</p>	Renters (+)



TABLE 1 — Continued

Occupation	Some occupations, especially those involving resource extraction, may be severely impacted by a hazard event. Self-employed fishermen suffer when their means of production is lost and may not have the requisite capital to resume work in a timely fashion and thus will seek alternative employment. Those migrant workers engaged in agriculture and low-skilled service jobs (housekeeping, childcare, and gardening) may similarly suffer, as disposable income fades and the need for services declines. Immigration status also affects occupational recovery. <i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), Hewitt (1997), and Puente (1999).	Professional or managerial (-) Clerical or laborer (+) Service sector (+)
Family structure	Families with large numbers of dependents or single-parent households often have limited finances to outsource care for dependents, and thus must juggle work responsibilities and care for family members. All affect the resilience to and recovery from hazards. <i>Source:</i> Blaikie et al. (1994), Morrow (1999), Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), and Puente (1999).	High birth rates (+) Large families (+) Single-parent households (+)
Education	Education is linked to socioeconomic status, with higher educational attainment resulting in greater lifetime earnings. Lower education constrains the ability to understand warning information and access to recovery information. <i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000).	Little education (+) Highly educated (-)
Population growth	Counties experiencing rapid growth lack available quality housing, and the social services network may not have had time to adjust to increased populations. New migrants may not speak the language and not be familiar with bureaucracies for obtaining relief or recovery information, all of which increase vulnerability. <i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), Cutter, Mitchell, and Scott (2000), Morrow (1999), and Puente (1999).	Rapid growth (+)
Medical services	Health care providers, including physicians, nursing homes, and hospitals, are important post-event	Higher density of medical (-)

Bijlage 7: Tabel invloeden van parameters op *vulnerability* (4) (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)

TABLE 1 — Continued

	sources of relief. The lack of proximate medical services will lengthen immediate relief and longer-term recovery from disasters.	
	<i>Source:</i> Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), Morrow (1999), and Hewitt (1997).	
Social dependence	Those people who are totally dependent on social services for survival are already economically and socially marginalized and require additional support in the post-disaster period.	High dependence (+) Low dependence (-)
	<i>Source:</i> Morrow (1999), Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), Drabek (1996), and Hewitt (2000).	
Special needs populations	Special needs populations (infirm, institutionalized, transient, homeless), while difficult to identify and measure, are disproportionately affected during disasters and, because of their invisibility in communities, mostly ignored during recovery.	Large special needs population (+)
	<i>Source:</i> Morrow (1999) and Tobin and Ollenburger (1993).	

*Source:* Cutter, Boruff, and Shirley (2001); Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2002).