City index

Ranking van hoofdsteden in Nederland

Op basis van risico's ten opzichte van extreme neerslag

Figuur 1 - Hoofdsteden Nederland

TU Delft in samenwerking met HKV

Bachelor Eindproject

City index

Ranking van hoofdsteden in Nederland op basis van risico's ten opzichte van extreme neerslag

Door

T. Krijger

om te voldoen aan de eisen voor de graad

Bachelor of Science

in Civiele Techniek

aan de Technische Universiteit Delft,

mei – juni 2018

Begeleiders: dr. ir. B. Kolen

dr. ir. S. van Vuren

TU Delft

Voorwoord

Voor u ligt mijn Bachelor Eindproject, dit project is geschreven als afsluiting van de bacheloropleiding Civiele Techniek op de Technische Universiteit Delft. Met behulp van de kennis die is vergaard in de afgelopen 3 jaar is samen met mijn begeleiders Bas Kolen en Saskia van Vuren dit rapport tot een goed einde gebracht. Door het schrijven van dit rapport en het onderzoek wat hiermee gerelateerd was is mijn interesse in de master Hydraulic Engineering die ik in het studiejaar 2019-2020 zal beginnen nog groter geworden. Ik wens u veel plezier met het lezen van mijn rapport.

T. Krijger
Delft, Juni 2018

Samenvatting

Door de klimaatverandering is er sprake van een toename van buien met extreme neerslag. Dit zorgt ervoor dat de Nederlandse steden steeds kwetsbaarder worden voor regenoverstromingen. Om te weten hoe kwetsbaar deze steden zijn op dit moment maar ook in de toekomst, zijn de gevolgen, kansen en hieruit volgende risico's onderzocht. Deze informatie is samen met de neerslag index geëtaleerd in een city index. In deze index zijn de hoofdsteden van Nederland gerankt op basis van kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag. Dit is gedaan aan de hand van twee samenhangende componenten, het neerslag risico en de neerslag index. De neerslag index geeft duiding aan het neerslag risico, de parameters en mate van risicobeheersing. De bepaling van deze componenten is naar analogie van het werk van Verschuur (2017) uitgevoerd. Verschuur heeft een flood risk en flood index bepaald met betrekking tot overstromingen van rivieren, in dit project is dit vertaald naar extreme neerslag.

Voor het berekenen van het neerslag risico is gebruik gemaakt van waterdieptekaarten als gevolg van extreme neerslag in Nederland. Deze kaarten zijn beschikbaar voor herhalingstijden die gebeurtenissen beschrijven die gemiddeld eens in de 10, 100 en 1000 jaar voorkomen. Het neerslag risico is bepaald aan de hand van de relatie risico = kans * gevolg. Waarin de kans de inverse van herhalingstijden is die bij de geleverde kaarten horen. Het gevolg is bepaald aan de hand van het schademodel dat is toegepast. Er is gebruik gemaakt van de WaterSchadeSchatter, dit model heeft als input de waterdieptekaarten. Als output levert het model een schadesom, dit is gerelateerd aan het gevolg. Voor elke stad is het risico berekend en vervolgens zijn de steden gerankt op basis van dit risico. Dit is gedaan voor het jaar 2018 maar ook voor het jaar 2050 waarbij de kans en het gevolg verandert.

De neerslag index maakt gebruik van bepalende parameters met betrekking tot omvang of handelingsperspectief. Zoals parameters behorende bij de categorieën preventief, economisch, noodgeval en landgebruik. Elke parameter is op een andere manier uitgerekend en geschaald van 1 tot 10. Waarbij een stad kwetsbaar is als deze op een parameter een 10 scoort. Voor de minimale en maximale waarde is gekeken naar de laagste en hoogste waarde die Nederland breed voorkomt. Zo is het mogelijk om in de toekomst ook andere steden toe te voegen zonder dat de schaal verandert. De aanpak is consistent met de aanpak van Verschuur (2017). Voor elke stad is de neerslag index ingevuld, zo is een visueel plaatje beschikbaar waarin duidelijk is op welke parameters een stad goed maar ook slecht scoort. De neerslag index geeft goed weer waar de steden een focus op moeten leggen om ervoor te zorgen dat schade door extreme neerslag minimaal is.

Uit het neerslag risico volgt dat Den Haag de stad is met het grootste risico in 2018 maar ook in 2050. De stad met het laagste neerslag risico in 2018 is Assen, waar Middelburg in 2050 de stad is met het laagste neerslag risico. Bij de neerslag index komt ook Den Haag naar voren als de stad die het meest kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag. Lelystad is volgens de neerslag index de stad die het minst kwetsbaar is. Het blijkt dat een stad waar veel stedelijk gebied aanwezig is het neerslag risico per jaar ook groter is. Den Haag heeft de grootste bevolkingsdichtheid van alle steden, het grootste aantal bedrijven maar ook veel wegen. Dit zorgt allemaal voor een groter neerslag risico.

Er is een verandering tussen 2050 en 2018 van het neerslag risico door de urbanisatie en economische groei. Ook de voorkomingskans van extreme neerslag verandert. Den Haag heeft ook in 2050 het grootste neerslag risico omdat er naast een verwachte bevolkingsgroei van 13% ook een toename in kans op extreme neerslag wordt verwacht van 8%. Voor de periode 2018-2050 wordt voor alle steden een economische groei verwacht van 82.6%.

Inhoud

1. Inleiding 1
1.1 Aanleiding 1
1.2 Probleemstelling 1
1.3 Doelstelling 2
1.4 Onderzoeksvragen 2
1.4.1 Hoofdvraag 2
1.4.2 Deelvragen 2
1.5 Leeswijzer 2
2. Theoretisch kader/Literatuuronderzoek 3
3. Methoden 4
3.1 Methode voor het neerslag risico 2018 4
3.1.1 HKV-waterviewer 'water op straat' 7
3.1.2 Schadeberekening 7
3.2 Methode voor het neerslag risico 2050 8
3.2.1 Verandering in Kans 9
3.2.2 Verandering in Gevolg 9
3.3 Methode voor de neerslag index 10
3.3.1 Preventief 10
3.3.2 Economisch 12
3.3.3 Noodgeval 13
3.3.4 Landgebruik 14
3.3.5 Neerslag Index 15
4. Resultaten 16
4.1 Neerslag risico 2018 16
4.1.1 Analyse van de resultaten 17
4.2 Neerslag risico 2050 18
4.2.1 Analyse van de resultaten 19
4.3 Neerslag index 19
4.3.1 Analyse van de resultaten 20
4.3.2 Neerslag index Utrecht 24
5. Discussie 25
5.1 Neerslag risico 25
5.2 Neerslag index 26
6. Conclusie 27
7. Aanbevelingen 28

7.1 Neerslag risico 28
7.2 Neerslag index 28
Literatuurlijst 29
Bijlage A: Berekeningen 31
A.1 Neerslag risico 2018 31
A.2 Neerslag risico 2050 31
A.3 Neerslag index 33
A.3.1 Resultaat van de berekening van de parameters 35
A.3.2 Scores behorende bij de berekende resultaten 36
Bijlage B: Neerslag index hoofdsteden Nederland 37
Bijlage C: Besprekingsverslagen 43
C.1 Startnotitie 43
C.2 Tussenrapport 44
C.3 Eindrapport 44
Bijlage D: Feedback mede student 45
Bijlage E: Startnotitie 46
E.1 Voorwoord 46
E.2 Inleiding 46
E.3 Opdrachtgever 46
E.4 Probleemstelling 46
E.5 Doelstelling & op te leveren product 46
E.6 Randvoorwaarden 47
E.7 Aanpak 47
E.8 Eventuele beperkingen/begrenzingen 48
E.9 Planning 49
E.10 Kwaliteit 49

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Extreme neerslag heeft binnen stedelijke gebieden een significante invloed. Vaak wordt onderschat hoe groot deze gevolgen daadwerkelijk zijn. Door de klimaatverandering zullen er heftigere regenbuien voorkomen, dit zal in combinatie met de steeds groter wordende kwetsbaarheid van de infrastructuur resulteren in steeds grotere gevolgen (Komolafe et al., 2018).

Deze gevolgen vinden plaats wanneer extreme neerslag resulteert in regenoverstromingen. Dit gebeurt wanneer het overtollig regenwater niet snel genoeg kan worden afgevoerd door middel van rioleringen, grachten en rivieren. Deze regenoverstromingen vinden meestal plaats bij neerslag van meer dan 30 millimeter per uur. Maar dit kan al bij minder neerslag het geval zijn wanneer de grond is verzadigd, verhard of een lage doordringbaarheid heeft (Falconer et al., 2008). Door de urbanisatie is meer grondoppervlak verhard waardoor de grondinfiltratie wordt verminderd. Dit draagt bij aan het ontstaan van microklimaten waardoor de kans van optreden van extreme neerslag toeneemt (Shepherd et al., 2002; Mote et al., 2007).

Hoewel de regenoverstromingen zich kenmerken door lage waterdieptes ten opzichte van overstromingen door rivieren of de zee, kan de impact toch even wijdverspreid zijn. Zo kan ook bij regenoverstromingen het verkeer zijn ontregeld, wat als indirect gevolg heeft dat het werk tijdelijk wordt stilgelegd waardoor minder geld wordt verdiend (Yu et al., 2016).

Naast klimaatverandering dragen ook andere factoren zoals economische en sociale factoren bij aan de gevolgen van extreme neerslag in de toekomst. Denk hierbij aan bevolkingsgroei en verschillen in landgebruik (Barredo, 2009; Mitchell, 2003).

Overstromingen als gevolg van neerslag worden steeds minder geaccepteerd in de moderne maatschappij aangezien er tegenwoordig steeds hogere eisen worden gesteld aan energievoorzieningen. Er wordt betaald voor de verwerking van regenwater dus men verwacht dat er geen complicaties optreden (Schmitt et al., 2004). Wanneer een stad geen maatregelen neemt tegen regenoverstromingen en wanneer door klimaatverandering de schade toeneemt. Zal dit zorgen voor een hogere premie die de inwoners van de steden zullen moeten betalen voor de verzekeringen (verzekeraars.nl, 2018).

1.2 Probleemstelling

Op dit moment zijn er nog maar weinig methodes beschikbaar die zijn ontwikkeld voor het bestuderen van overstromingen ten gevolge van extreme neerslag. De meeste methodes die beschikbaar zijn in het huidige tijdperk focussen op rivieroverstromingen en zeespiegelstijging (Escuder et al., 2012).

Er is veel onderzoek gedaan naar overstromingsrisico's zoals bij bijvoorbeeld het werk van Verschuur (2017). Maar in deze onderzoeken ontbreekt extreme neerslag als hazard event, deze niche is ingevuld door dit project.

Om ervoor te zorgen dat de gevolgen van extreme neerslag beter in kaart worden gebracht en dat de preventie en adaptatiemaatregelen ertegen niet steeds op worden geschoven in de agenda's, is het van belang om meer inzicht te hebben in de risico's van extreme neerslag. Daarnaast is het ook belangrijk om gemeentelijk bestuur van steden in Nederland te ondersteunen met het nemen van beslissingen met betrekking tot watermanagement. Beter begrijpen van extreme neerslag zal helpen om de risico's te verminderen (Agilan en Umamahesh, 2015).

In dit project is ingezoomd op Nederland en is er gekeken naar de hoofdsteden van de provincies. Het gaat hier om Assen, Zwolle, Lelystad, Arnhem, Utrecht, Haarlem, Den Haag, Middelburg, Leeuwarden, Groningen, Den Bosch en Maastricht. Om goed inzicht te krijgen in de risico's is er een city index opgesteld waarbij het duidelijk is welke steden grote gevolgen ondervinden en wat de oorzaken hiervoor zijn. Daarbij kunnen aan de hand van de city index de steden ook goed worden vergeleken.

Het is van belang dat er een actuele en toekomstige city index komt die inzicht geeft in de risico's van nu, maar ook in de risico's van de toekomst als gevolg van klimaatverandering, urbanisatie en economische groei. Het is daarbij belangrijk factoren die van invloed zijn op de kwetsbaarheid ten aanzien van deze risico's goed in beeld te hebben. Deze factoren zijn verdeeld in de categorieën preventief, economisch, noodgeval en landgebruik. Deze categorieën geven de beheersbaarheid van het risico aan en bieden een handelingsperspectief. De city index is gerangschikt op kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag. De city index bestaat uit twee componenten, het neerslag risico en de neerslag index. Daarbij is voor het neerslag risico gekeken naar de risico's van nu maar ook voor die van de toekomst.

1.3 Doelstelling

Dit project heeft als doel om een ranking te maken van de genoemde steden op basis van kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag. Daarnaast heeft het als doel om de risico's van extreme neerslag in kaart te brengen en zo duidelijker te maken voor de genoemde steden waar zij verbeteringen kunnen aanbrengen. Als laatste dient dit project om een methode te bieden waarin duidelijk is getoond hoe de risico's ten opzichte van extreme neerslag kunnen worden berekend.

1.4 Onderzoeksvragen

1.4.1 Hoofdvraag

Wat is het risico van de hoofdsteden in Nederland en welke steden hebben het hoogste risico gerelateerd aan extreme neerslag en zijn daarvoor het meest kwetsbaar?

1.4.2 Deelvragen

Welke methode wordt gebruikt om de risico's ten gevolge van extreme neerslag te bepalen?
Wat zijn de risico's gerelateerd aan overstromingen in de toekomst?
Welke parameters bepalen de kwetsbaarheid van een stad en welke zijn het belangrijkst voor de neerslag index?
Wat zijn de verbeteringen die aan het gebruikte model kunnen worden aangebracht?
Kan deze methode ook worden toegepast op steden in het buitenland?

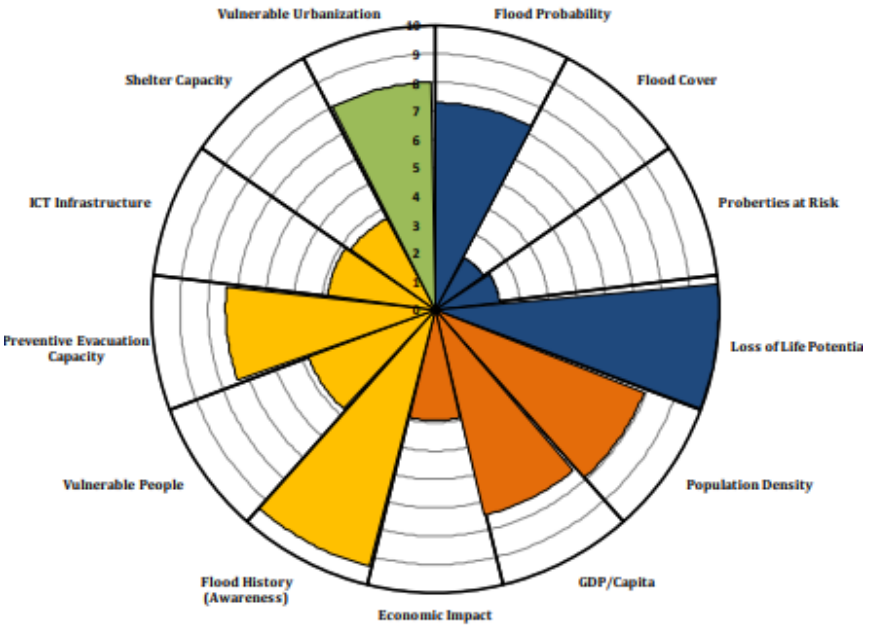
1.5 Leeswijzer

Eerst is het theoretisch kader besproken, hier zijn bestaande methodes besproken die relevant zijn voor dit onderzoek. Vervolgens zijn de gebruikte methoden verteld waarmee duidelijk is op welke manier het onderzoek is uitgevoerd en hoe tot resultaten is gekomen. Deze resultaten zijn vervolgens besproken en geanalyseerd. Dan volgt de discussie waarin een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd, hierbij is er gekeken naar de stof op een andere en kritische manier. Dan volgt de conclusie en als laatste zijn aanbevelingen gedaan.

2. Theoretisch kader/Literatuuronderzoek

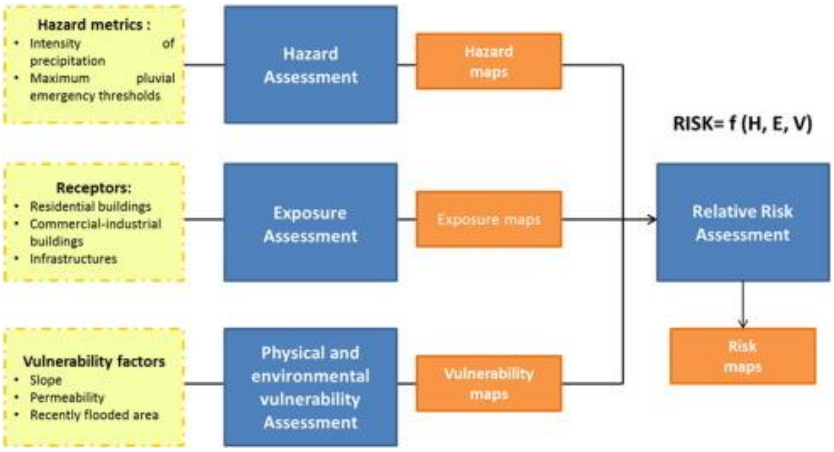
Het belangrijkste deel van dit project is de city index, deze bestaat uit twee samenhangende componenten namelijk het neerslag risico en de neerslag index. Samen ranken ze de steden op het gebied van het risico en de kwetsbaarheid ten gevolge van extreme neerslag. Het neerslag risico is bepaald op basis van schade die het gevolg is van een bepaalde waterdiepte dat in een stad staat. De neerslag index doet dit op basis van parameters die het risico sterk beïnvloeden en soms te beïnvloeden zijn door de mens. Deze twee componenten samen geven een totaalbeeld van de grootte van risico's voor de onderzochte steden. Bij het opstellen van de methodes voor deze componenten is er vooral gekeken naar de door Verschuur (2017) uitgewerkte methode. Het artikel van Sperotta (2016) is gebruikt voor de uitbreiding van neerslag index zoals deze in dit project is bepaald (zie daarvoor de aanbevelingen).

De methode die door Verschuur (2017) is gebruikt heeft betrekking op wereldwijde rivieroverstromingen. Daarbij is voor het neerslag risico, genoemd flood risk, gebruik gemaakt van de Schade en Slachtoffer Module. Deze module rekent het schadebedrag uit als gevolg van de inundatiedieptes. Voor de neerslag index, genoemd flood index, is gebruik gemaakt van parameters met betrekking tot rivieroverstromingen (zie figuur 2). De kleuren geven de verschillende categorieën aan die zijn gebruikt. Dit zijn de categorieën preventief (blauw), economisch (oranje), noodgeval (geel) en landgebruik (groen). De door Verschuur (2017) gebruikte parameters geven een goed eerste inzicht in de benodigde parameters met betrekking tot extreme neerslag. Waar nodig is zijn de parameters veranderd of zijn er parameters toegevoegd.



Figuur 2 - Neerslag index met parameters voor overstromingen

De methode die door Sperotta (2016) is gebruikt heeft betrekking op de gevolgen van extreme neerslag in Venetië. Daarbij is voor het bepalen van het neerslag risico gebruik gemaakt van kwetsbaarheid en schade factoren. In wezen is in deze methode in één keer het totale risico berekend, er is namelijk gebruik gemaakt van parameters in combinatie met schade. Dit artikel geeft een goede achtergrond over welke parameters belangrijk zijn voor extreme neerslag.



Figuur 3 - Risico schatting Venetië

3. Methoden

Om tot de city index te komen is zoals eerder verteld gebruik gemaakt van twee componenten, het neerslag risico en de neerslag index. Waarbij de neerslag index duiding geeft aan het neerslag risico en de mate van risicobeheersing. Er is uitgelegd hoe deze twee componenten zijn opgesteld en welke afwegingen zijn gemaakt bij het gebruiken van de bijbehorende modellen. Voor het neerslag risico is gekeken naar de methode voor 2018 en voor het jaar 2050.

3.1 Methode voor het neerslag risico 2018

Bij het berekenen van de totale schade per stad kan gebruik gemaakt worden van de Schade- en Slachtoffer Module 2017 (SSM) of de WaterSchadeSchatter (WSS). Tussen deze modellen zitten een aantal verschillen. Zo kan de SSM de schade berekenen bij hoge waterdieptes waarbij de WSS dit doet voor lage waterdieptes van tientallen centimeters.
Daarnaast gaat de SSM uit van schade bij gebouwen dat te maken heeft met de vervangingswaarde van de getroffen infrastructuur en de WSS gaat uit van schade dat hoort bij de kosten om de gebouwen in oorspronkelijke staat te herstellen. Hierdoor zal de schade die berekend is door de SSM vaak uitkomen op een hoger bedrag dan bij de WSS (Vreeken, 2013). Aangezien we te maken hebben met extreme neerslag met bijbehorende waterstanden van tientallen centimeters is gebruik gemaakt van de WSS.

De WSS maakt gebruik van de hoogtekaart Actueel Hoogtebestand Nederland en de landgebruikskaart. Met behulp van de landgebruikskaart kan de schade worden berekend. Deze kaart geeft namelijk de functies weer die de verschillende gebieden hebben. Voor het berekenen van de schade maakt de WSS twee berekeningen, namelijk die met betrekking tot de directe en indirecte schade. De directe schade volgt uit direct contact met water waarbij indirecte schade ontstaat als gevolg van de directe schade. Denk daarbij aan kantoren die voor een bepaalde tijd niet meer kunnen functioneren waardoor er omzet wordt misgelopen. De directe schade is als volgt gedefinieerd:

$$S_{direct} = D_{i,j} * \gamma_{diepte} * \gamma_{duur_direct} * \gamma_{seizoen}$$

De term D is het schadebedrag behorend bij het specifieke landgebruik (i) en het type scenario (j) en de termen γ zijn reductiefactoren. De indirecte schade is als volgt gedefinieerd:

$$S_{indirect} = D_{i,j} * \gamma_{duur_indirect}$$

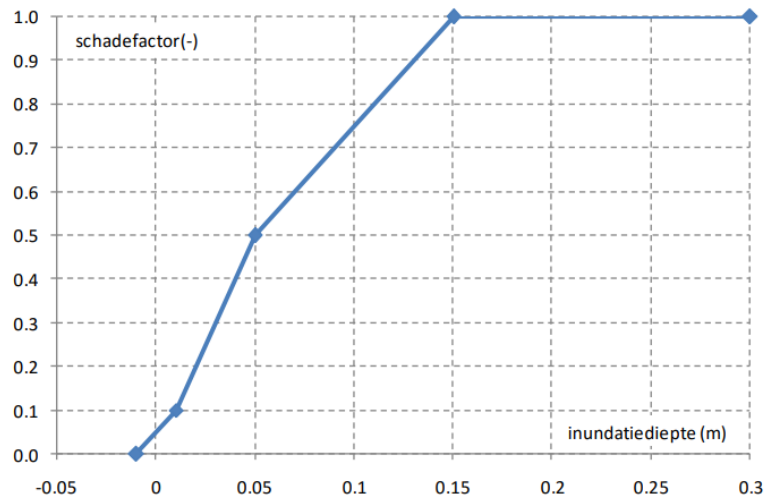
De term D is het schadebedrag behorend bij het type gebouw (i) en het type scenario (j).
De totale schade is dan de directe en indirecte schade bij elkaar opgeteld. Voor het berekenen van het totale risico is gebruik gemaakt van de vergelijking:

$$Risico = Kans * Gevolg$$

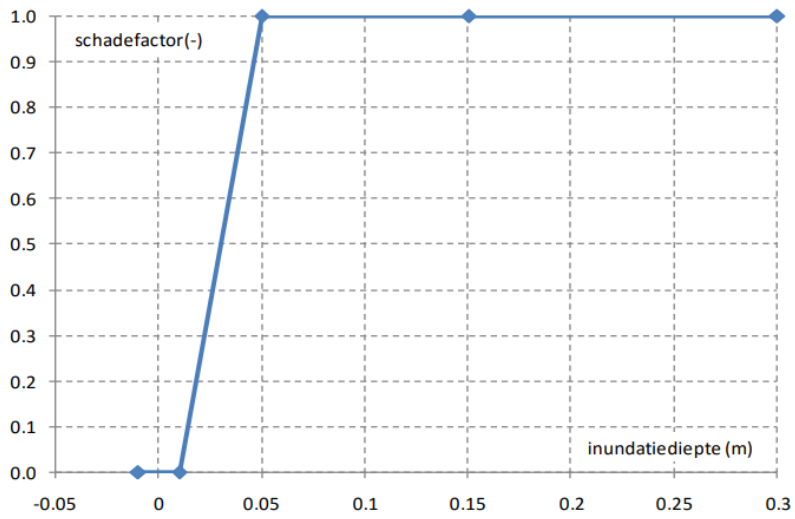
De maximale directe en indirecte schadebedragen behorende bij de verschillende landgebruikscategorieën zijn weergegeven in figuur 4. De schadefuncties in relatie met de inundatiedieptes zijn weergegeven voor de landgebruikscategorieën bebouwing, wegen en gewassen in respectievelijk figuren 5, 6 en 7.

	DIRECT				INDIRECT			
Categorie	Gem	Min	Max		Gem.	Min	Max	
Bebouwing								
Gezondheid	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Onderwijs	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Industrie	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Winkel	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Kantoor	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Logies	271	163	380	m^{-2}	87	43	130	m^{-2} dag^{-1}
Woon	271	163	380	m^{-2}	11	5	16	m^{-2} dag^{-1}
Bijeenkomst	271	163	380	m^{-2}	11	5	16	m^{-2} dag^{-1}
Cel	54	27	81	m^{-2}	11	5	16	m^{-2} dag^{-1}
Sport	54	27	81	m^{-2}	11	5	16	m^{-2} dag^{-1}
Overig <50m2	54	27	81	m^{-2}	0	0	0	m^{-2} dag^{-1}
Overig > 50m2	54	27	81	m^{-2}	11	5	16	m^{-2} dag^{-1}
INFRASTRUCTUUR								
Spoor	760	760	760	ha^{-1}	271437	54287	542873	spoorvak dag^{-1}
Primaire wegen	760	760	760	ha^{-1}	271437	54287	542873	wegvak dag^{-1}
Secundaire wegen	760	760	760	ha^{-1}	2714	1086	5429	wegvak dag^{-1}
Tertiaire wegen	760	760	760	ha^{-1}	0	0	0	wegvak dag^{-1}
Overige wegen	760	760	760	ha^{-1}	0	0	0	wegvak dag^{-1}
LAND- EN AKKERBOUW								
Agrarisch gras	1094	1033	1203	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Granen	1691	1011	2617	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Maïs	2088	1710	3334	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Aardappelen	2552	2432	2622	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Bieten	4473	3677	5105	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Overige landbouwgewassen	3660	3474	3909	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Fruitteelt	22489	18298	25434	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Bloembollen	28411	24692	32655	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Hoogstam	76165	63175	114502	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Kassen / glastuinbouw	473839	459743	492590	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
NATUUR EN RECREATIE								
Sportparken	760	760	760	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Terreinen	760	760	760	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Begraafplaatsen	1086	869	1303	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Volkstuinen	1086	869	1303	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Recreatie	1086	869	1303	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Groen in stedelijk gebied	1086	869	1303	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}
Overig	0	0	0	ha^{-1}				m^{-2} dag^{-1}

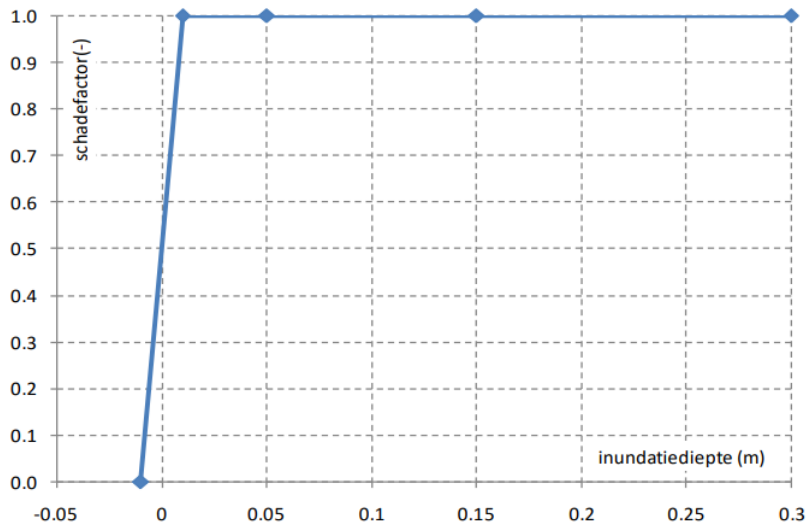
Figuur 4 - Maximale directe en indirecte schadebedragen



Figuur 5 - Relatie schadefactor en inundatiediepte voor bebouwing



Figuur 6 - Relatie schadefactor en inundatiediepte voor wegen



Figuur 7 - Relatie schadefactor en inundatiediepte voor gewassen

De inundatiediepte kaarten hebben verschillende herhalingstijden. Er is gesteld dat de inverse van de herhalingstijden gelijk staan aan de kans en de totale schade gelijk aan het gevolg, vervolgens is het totale risico berekend. Er is gebruik gemaakt van 3 verschillende kaarten per stad met herhalingstijden van 10, 100 en 1000 jaar, waarbij de risico's behorende bij deze herhalingstijden zijn gecombineerd. Dan volgt voor het totale risico per stad de volgende vergelijking:

$$Totale\ risico = \frac{1}{1000} * S_1 + \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1000}\right) * \frac{S_1 + S_2}{2} + \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{100}\right) * \frac{S_2 + S_3}{2}$$

Dit totale risico is uitgedrukt in het aantal euro's per jaar aan schade dat wordt verwacht. Hierin zijn de termen S de totale schades van de bijbehorende herhalingstijden. Op basis van het totale risico is het neerslag risico opgesteld waarbij de 10 steden zijn gerangschikt op afnemende volgorde van risico.

3.1.1 HKV-waterviewer 'water op straat'

Voor het bepalen van het neerslag risico maken we gebruik van de gegevens van de waterviewer 'water op straat'. Deze waterviewer geeft waterdieptes in centimeters voor heel Nederland in rastergroottes van 2.5 bij 2.5 meter. Deze waterdieptes zijn doormiddel van vuistregels afgeleid en geven een globale aanduiding. De afgeleide waterdieptes bieden de onderzochte locaties een eerste inzicht in de hoeveelheid wateroverlast dat verwacht kan worden bij bepaalde neerslagintensiteiten. De waterviewer maakt gebruik van de volgende neerslagintensiteiten:

Herhalingstijd (jaren)	Neerslagsom (mm/2uur)
10	37
100	68
1000	132

Tabel 1 - HKV-neerslagintensiteiten

Wanneer het eerste beeld dat is geschetst via deze waterviewer problematisch lijkt kan de afweging worden gemaakt om preventie- en adaptatiemaatregelen te nemen of om een meer gedetailleerde analyse toe te passen op het onderzochte gebied.

Via een landelijke modelanalyse gebaseerd op een rekenalgoritme zijn de waterdieptekaarten gecreëerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de AHN3 hoogtekaart en de neerslagintensiteiten (zie tabel 1) zoals STOWA deze heeft berekend. Voor de neerslagintensiteiten is gekozen voor een duur van 2 uur omdat deze lengte van een bui kan leiden tot wateroverlast in stedelijk gebied. Bij het bepalen van de neerslagsom is gekeken naar het verschil tussen een verhard en onverhard gebied, waarbij 50% verhard is aangenomen. Bij verhard gebied is van een berging uitgegaan van 7mm en bij onverhard gebied van een berging van 20mm. De mate waarin een grond doordringbaar is, wordt niet meegenomen in de berekening. Door middel van een correctiefactor zijn de berging in de bodem en de riolering meegenomen.

3.1.2 Schadeberekening

De WSS neemt als input kaarten met waterstanden ten opzichte van NAP. Er is per stap uitgelegd hoe voor Nederland deze waterstanden per stad zijn gegenereerd.

1. Voor de waterdieptes is gebruik gemaakt van de HKV-waterviewer, deze viewer geeft waterdieptes in centimeters voor heel Nederland in rastergroottes van 2.5 bij 2.5 meter. Deze waterdieptes zijn gegenereerd aan de hand van neerslagintensiteiten zoals deze in tabel 1 zijn aangegeven.

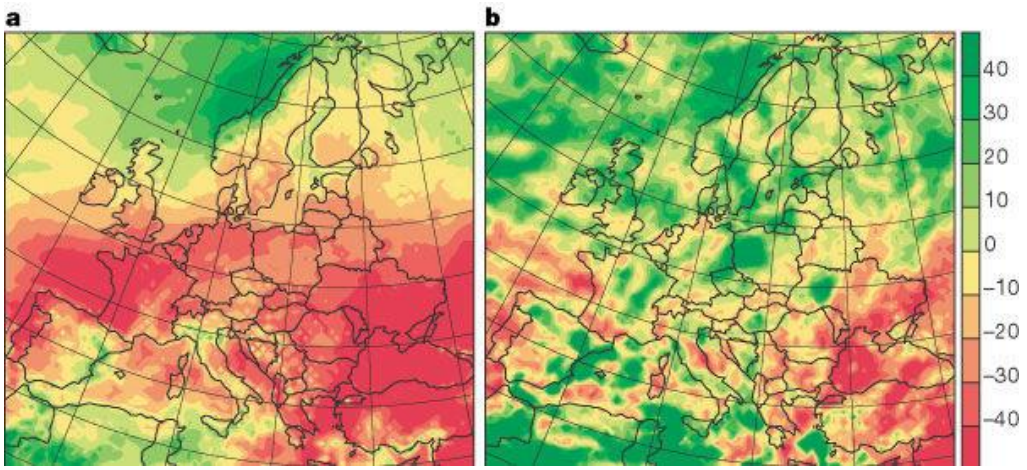
2. Aangezien het bestand met waterdieptes voor Nederland erg groot is wordt het verdeeld in blokken van gelijke grootte, 10 bij 10km, in heel Nederland. Per stad zijn de benodigde blokken geïmporteerd in QGIS en vervolgens samengevoegd.
3. Met behulp van de Publieke Dienstverlening Op de Kaart (PDOK) database is daar een kaart van steden overheen gelegd. Daarmee is van de samengevoegde blokken een waterdiepte kaart van de steden gecreëerd.
4. Vervolgens zijn de waterdiepte kaarten per stad omgezet naar waterdieptes in meters door middel van een rasterberekening waarbij het hele raster gedeeld is door 100.
5. Met behulp van de AHN2 kaart met ook rasters van 2.5 bij 2.5 meter van Nederland is de kaart met waterdieptes omgezet in een kaart met waterstanden ten opzichte van NAP.
6. Als laatste stap zijn deze rasterbestanden omgezet in ASC-bestanden, deze bestanden geven voor elke raster van 2.5 bij 2.5 meter de waterstand weer als getal.

Voor elke stad is er vervolgens een kaart beschikbaar (zie figuur 8) waarin de waterstanden ten opzichte van NAP zijn weergegeven voor herhalingstijden van eens in de 10, 100 en 1000 jaar.

Figuur 8 - Middelburg voor een herhalingstijd van eens in de 10 jaar. De waterstanden zijn in meters ten opzichte van NAP.

3.2 Methode voor het neerslag risico 2050

De klimaatverandering zal volgens de bevindingen van Christensen & Christensen (2003) ervoor zorgen dat extreme neerslag met veel schade als gevolg vaker zal voorkomen. Zo zal de 95e percentiel van de hoeveelheid regen dat valt in een korte periode steeds vaker worden overschreden. Waar de korte hevige neerslag vaker zal voorkomen hoeft dit niet te betekenen dat de totale neerslag in een bepaalde periode ook groter wordt. Er wordt verwacht dat de zomers droger zullen zijn waarbij extreme neerslag vaker voorkomt.



Figuur 9 - Relatieve verandering van de neerslag in procenten ten opzichte van a-het seizoen gemiddelde en b-5 dagen gemiddelde overschrijding 99e percentiel.

.

Ook voor het bepalen van het neerslag risico 2050 is gebruik gemaakt van de relatie:

$$Risico = Kans * Gevolg$$

Daarbij is gekeken naar de verandering in de kans en het gevolg voor het jaar 2050 ten opzichte van het jaar 2018.

3.2.1 Verandering in Kans

Voor een groot deel van Nederland zijn de overschrijdingen van een neerslagintensiteit van meer dan 20 millimeter per uur met 60% toegenomen in de periode 1951-2009 (Buishand et al., 2013). Het schatten van het percentage neerslagextremen dat vaker zal voorkomen in 2050 ten opzichte van 2018 is gedaan met behulp van de gegevens van (Beersma et al., 2015).

Hieruit volgt dat Nederland is opgedeeld in 4 regio's met verschillende veranderingen in kans op extreme neerslag (zie methode neerslag index). Er is gekeken in welke regio de stad is gesitueerd en aan de hand daarvan is een specifiekere kans bepaald. Voor het bepalen van het neerslag risico in 2050 is gebruik gemaakt van deze veranderingen in kansen op extreme neerslag.

3.2.2 Verandering in Gevolg

De schadebedragen als gevolg van extreme neerslag zullen anders zijn in 2050. Dit als gevolg van de groei van steden maar ook als gevolg van economische groei. Voor de randstad wordt in 2050 een groei van 23% verwacht, voor de intermediaire zone een groei van 11% en voor overig Nederland een groei van 3% (Manders & Kool 2015). Specifieker gekeken geeft het CBS de bevolkingsgroei en STOWA de economische groei tussen 2018 en 2050 per stad. Daarmee is per stad het schadebedrag als volgt berekend:

$$S_{2050} = S_{2018} * (1 + \frac{Percentage\ bevolkingsgroei}{100} + \frac{Percentage\ economische\ groei}{100})$$

Er is uitgegaan van een jaarlijkse groei van de economische schade van 1.9% (en Milieu, M. V. I., 2016).

Aan de hand van deze gegevens is het neerslag risico 2018 geschaald naar het neerslag risico van 2050. Waarbij per stad de toename in kans en gevolg samen verschillend zijn.

3.3 Methode voor de neerslag index

Het component neerslag index is weergegeven in een spinnenwebdiagram, deze index is bepaald aan de hand van parameters die gerelateerd zijn aan extreme neerslag. Deze parameters zijn verdeeld in categorieën. De bepaling van deze parameters is gedaan via open datasoftware.

Voor elke parameter is de minimale en maximale waarde bepaald en vervolgens naar kwetsbaarheid geschaald van 1 tot 10. Hierbij betekent een hoger getal dat de stad kwetsbaarder is op het gebied van die parameter. Het omzetten naar de gebruikte schaal is voor elke parameter anders uitgevoerd. Dit omdat de getallen per parameter bijvoorbeeld heel ver uit elkaar kunnen leggen waardoor het toepassen van een lineaire schaal niet een goed beeld weergeeft. Daarom is soms gebruik gemaakt van een logaritmische schaal.

De minimale en maximale kwetsbaarheid scores, respectievelijk 1 en 10 zijn niet aan de laagste en hoogste berekende waarde gekoppeld. Dit is niet gedaan aangezien de mogelijkheid er dan niet is om andere steden toe te voegen aan de neerslag index. Wanneer dit zou worden gedaan zal de schaal aangepast moeten worden. Aan de hand van verschillende bronnen is per parameter Nederland breed de uiterste waardes vastgesteld, dit zorgt ervoor dat elke stad in Nederland tussen deze waardes geplaatst kan worden.

Voor het bepalen van de parameters die in de neerslag index komen is er gekeken naar de parameters die door Verschuur (2017) zijn gebruikt. Deze parameters met betrekking tot wereldwijde rivieroverstromingen zijn hier gebruikt en zo nodig aangepast zodat ze passen bij extreme neerslag. De categorieën met bijbehorende parameters waarnaar is gekeken zijn:

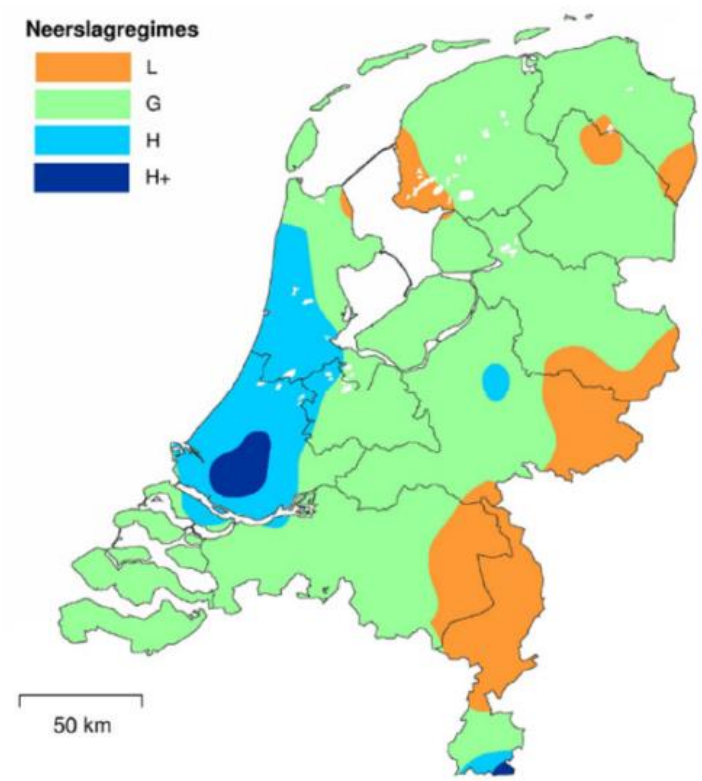
3.3.1 Preventief

Er zijn verschillende parameters die te maken hebben met preventieve maatregelen die genomen kunnen worden om ervoor te zorgen dat extreme neerslag leidt tot minder schade.

Kans op voorkomen overstroming

Deze parameter is aangepast naar de kans op een extreme bui aangezien het hier niet gaat om rivieroverstromingen maar om regenoverstromingen als gevolg van extreme neerslag. Deze parameter had bij Verschuur (2017) betrekking op de kans dat een bepaalde waterstand in een rivier zou worden overschreden en maakte gebruik van de FLOPROS-database. In dit project is gekeken naar wat de verschillen in voorkomingskansen zijn van extreme neerslag tussen de steden. Er is hier gekeken naar de toename of afname van extreme neerslagpieken.

Nederland is opgedeeld in vier verschillende neerslag regimes (Beersma et al., 2015). Deze regimes geven een factor voor de verschillen in de kans op extreme neerslag. Met behulp van figuur 10 is vastgesteld voor elke stad in welk neerslag regime de stad hoort.



Figuur 10 - Neerslagregimes Nederland - (Buishand et al., 2009)

Regime	$\hat{\xi}_{rel}$	regimegemiddelde
L	< 0.95	0.93
G	0.95 … 1.05	1.00
H	1.05 … 1.10	1.08
H+	≥ 1.10	1.14

Tabel 2 - Factoren met betrekking tot neerslagregimes

De factoren die bij deze regimes horen zijn naar een schaal van 1 tot 10 veranderd. Bij een stad die in het regime L valt, zal een afname worden verwacht van extreme neerslag. De stad zal dan minder kwetsbaar zijn, daaruit volgt de volgende indeling van de waarden voor de neerslag index.

Regime	Waarde voor neerslag index
L	1
G	4
H	7
H+	10

Percentage overstroomd oppervlak

Deze parameter heeft betrekking op het percentage van de stad dat te maken heeft met de overstroming als gevolg van extreme neerslag. Het geeft goed inzicht in hoeveel huizen te maken krijgen met schade door extreme neerslag. Hierbij is het percentage overstroomd oppervlak berekend met behulp van de gegeven waterdieptekaarten. Voor deze kaarten is voor elke raster van 2.5 bij 2.5 meter gekeken naar welke waterdiepte zich daar bevindt. Voor een raster met een waterdiepte kleiner dan 10 centimeter is aangenomen dat deze raster niet overstroomd is. Dit aangezien een dergelijke kleine waterdiepte niet voor wateroverlast zorgt. Deze veronderstelling is alleen gedaan bij het bepalen van deze parameter. Voor het bepalen van het neerslagrisico is elke waterstand ingevoerd in het schademodel, ook de waterstanden kleiner dan 10 centimeter aangezien de WSS hier rekening mee houdt. Er is vervolgens een rasterberekening uitgevoerd op de kaarten met de genoemde randvoorwaarde. De berekening is als volgt:

$$(Waterdieptekaart\ stad > 0.1)$$

Deze vergelijking zet de waterdieptekaart om in een raster met nullen en enen. Waarbij de rasters met nullen de verwaarloosbare waterdieptes van kleiner dan 10 centimeter zijn. De rasters zijn bij elkaar opgeteld, waaruit volgt hoeveel rasters met een waterdiepte groter dan 10 centimeter zich in de kaart bevinden. Daarnaast is ook het totaal aan rasters geteld. Aan de hand van deze rasterberekeningen is dan bepaald hoeveel procent percentage overstroomd oppervlak er is per stad via de volgende vergelijking:

$$Percentage\ overstroomd\ oppervlak = \frac{Aantal\ rasters\ >\ 10\ centimeter}{Totaal\ aantal\ rasters}$$

Een stad met een hoog percentage overstroomd oppervlak krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een laag percentage overstroomd oppervlak krijgt een lage kwetsbaarheid score.

Gebouwen met risico

Deze parameter geeft aan hoeveel gebouwen te maken krijgen met de gevolgen van extreme neerslag, hierbij is de dichtheid van gebouwen de graadmeter. Deze parameter is gekarakteriseerd als:

$$Gebouwen\ met\ risico\ [aantal] = Woningdichtheid * Oppervlak\ overstroomd\ gebied$$

Het oppervlak overstroomd gebied is berekend met behulp van de parameter percentage overstroomd oppervlak. Dit percentage overstroomd oppervlak is vermenigvuldig met het oppervlak van de stad om het oppervlak overstroomd gebied te krijgen. Voor de woningdichtheid is gebruik gemaakt van de cijfers van het CBS.

Een stad met een hoog aantal gebouwen met risico krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een laag aantal gebouwen met risico krijgt een lage kwetsbaarheid score.

Potentieel aantal slachtoffers

Deze parameter is niet meegenomen in de neerslag index aangezien er doormiddel van extreme neerslag in Nederland geen slachtoffers vallen.

Verhard oppervlak

Deze parameter is niet meegenomen door Verschuur (2017), maar het is wel een belangrijke parameter voor het bepalen van de neerslag index. Er is hier namelijk gekeken naar hoe snel regenwater in de bodem infiltreert. Dit hangt af van de hoeveelheid begroeiing in een stad. Hoe meer begroeiing zich bevindt in de stad hoe meer water in de grond kan infiltreren en hoe minder schade extreme neerslag zal toebrengen (Nachshon et al., 2016).

Om te berekenen hoe groot het verharde oppervlak is in de steden wordt er gebruik gemaakt van de gegevens van het CBS.

Het oppervlak bebouwd gebied is gegeven door de componenten verkeersterrein, bebouwd terrein en semi-bebouwd terrein. Deze zijn gekoppeld aan het totale oppervlak van de stad en het percentage verhard oppervlak is berekend via:

$$Verhard\ oppervlak\ [\%] = \frac{Oppervlakte\ bebouwd\ gebied}{Totale\ oppervlakte}$$

De minimale waarde voor deze parameter is 3% verharding, op deze waarde is gekomen door naar de steden te kijken met de kleinste percentages verharding waar Lelystad er een van is met een bijbehorende waarde van 4.6%. De maximale waarde is gesteld op 70% aangezien Haarlem met 61.9% behoort tot een van de hoogste percentages verharding.

Een stad met een hoog percentage verhard oppervlak krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een laag percentage verhard oppervlak krijgt een lage kwetsbaarheid score.

3.3.2 Economisch

Omdat het vermogen om maatregelen te nemen tegen extreme neerslag afhangt van de economische kracht van een stad is er gekeken naar de bevolkingsdichtheid, het inkomen per huishouden en als laatste de economische impact.

Bevolkingsdichtheid

Deze parameter geeft aan hoeveel inwoners zich per vierkante kilometer bevinden in de steden. Voor de bevolkingsdichtheid van de steden in Nederland is gebruik gemaakt van de gegevens van het CBS.

Voor de minimale bevolkingsdichtheid is een waarde aangenomen van 23 inwoners per vierkante kilometer behorende bij de gemeente Schiermonnikoog. Dit is namelijk de dunst bevolkte gemeente

van Nederland. Voor de maximale bevolkingsdichtheid is dit 6429 inwoners per vierkante kilometer behorende bij Den Haag, wat de dichtst bevolkte gemeente is van Nederland.

Een stad met een hoge bevolkingsdichtheid krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een lage bevolkingsdichtheid krijgt een lage kwetsbaarheid score.

Inkomen per huishouden

Deze parameter geeft aan hoeveel het gemiddelde inkomen per huishouden is van de desbetreffende stad. Wanneer het inkomen per huishouden aan de hoge kant ligt zullen de huizen beter bestand zijn tegen regenoverlast en de inwoners kunnen makkelijker renovatiemaatregelen treffen. Voor deze gegevens is gebruik gemaakt van de cijfers die beschikbaar zijn gesteld door het CBS.

Voor het minimale inkomen per huishouden is 23.600 euro aangenomen behorende bij Pekela en voor het maximale inkomen per huishouden is 58.300 euro aangenomen behorende bij Wassenaar.

Een stad met een hoog inkomen per huishouden krijgt een lage kwetsbaarheid score en een stad met een laag inkomen per huishouden krijgt een hoge kwetsbaarheid score.

Economische impact

Met deze impact wordt bedoeld hoeveel procent van de Nederlandse economie wordt geproduceerd door de stad. Als een stad slachtoffer wordt van extreme neerslag kan het ook gevolgen hebben voor de nationale economie. Bijvoorbeeld als een aantal belangrijke bedrijven die gesitueerd zijn in een stad een bepaalde tijd niet kunnen opereren. Daarom is het belangrijk ook deze parameter mee te nemen waarbij de economische impact is gekarakteriseerd als:

$$Economische\ impact\ [\%] = \frac{BBP\ van\ de\ stad}{Nationaal\ BBP}$$

Eveneens is hiervoor gebruik gemaakt van cijfers van het CBS. Waarmee met BBP het Bruto Buitenlands Product wordt bedoelt.

Voor de maximale waarde van de economische impact is naar Amsterdam gekeken, Amsterdam heeft een economische impact van 9.9%, dit is de stad met de grootste economische impact in Nederland. Voor de minimale waarde is 0.06% genomen, uitgegaan van een kleine stad met maar 20.000 inwoners en een laag BBP per inwoner van 20.000 euro per inwoner.

Een stad met een hoge economische impact krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een lage economische impact krijgt een lage kwetsbaarheid score.

3.3.3 Noodgeval

Belangrijk voor de inwoners van een stad is hoe bewust zij zijn over de gevaren van extreme neerslag. Wanneer zij goed op de hoogte zijn kunnen de inwoners dit gebruiken om hun omgeving zo in te richten dat er minimale schade wordt aangebracht (Escuder-Bueno, 2012). Het is ook belangrijk om goede verbindingen te hebben met het centrum van de stad om de infrastructuur na een extreme bui weer snel op gang te zetten.

Geschiedenis overstromingen

Deze parameter is aangepast naar geschiedenis extreme neerslag. Aangezien dit aangeeft hoe vaak de inwoners te maken hebben gehad met extreme neerslag. Daarbij is gekeken naar hoeveel meldingen van wateroverlast elk jaar worden gedaan in de stad. In steden waar regenoverstromingen hebben plaatsgevonden in het recente verleden zullen de inwoners namelijk beter voorbereidt zijn tegen dergelijke gebeurtenissen (Verschuur et al., 2017).

Voor het verzamelen van de geschiedenis van regenoverstromingen is gebruikt gemaakt van de cijfers die door KNMI beschikbaar zijn gesteld (Oldenborgh & Lenderink, 2014). De meldingen van wateroverlast zijn via oozo.nl (2018) bekeken.

De laagste waarde voor deze parameter is gesteld op 0 meldingen van wateroverlast en de maximale waarde op 1980 meldingen van wateroverlast behorende bij Den Haag aangezien dit de stad is met de meeste meldingen.

Gebieden die recent last hebben gehad van regenoverstromingen krijgen een lage kwetsbaarheid score en gebieden waar geen regenoverstromingen hebben plaatsgevonden een hoge kwetsbaarheid score.

Kwetsbare bevolking

Deze parameter is niet meegenomen in de neerslag index aangezien het risico van verdrinking niet aanwezig is. Dit omdat het over waterdieptes van enkele tientallen centimeters gaat.

Evacuatiecapaciteit

Deze parameter is niet meegenomen in de neerslag index aangezien er geen evacuatie nodig is.

ICT-infrastructuur

Deze parameter zal betrekking hebben tot de hoeveelheid aanvoerroutes die hulpdiensten hebben om de schadegebieden te bereiken. Er is hier gekeken naar de belangrijkste wegen door de steden heen. De ICT-infrastructuur is dan gekarakteriseerd als:

$$ICT - infrastructuur\ [1/km] = \frac{Aantal\ kilometer\ met\ hoofdwegen}{Oppervlakte\ stad}$$

Voor de lengte van de hoofdwegen is gebruik gemaakt van het wegenbestand beschikbaar doormiddel van de TOP10NL kaart. De hoofdwegen zijn via QGIS geselecteerd en de lengte van deze hoofdwegen is vervolgens berekend.

Een stad met een hoog percentage ICT-infrastructuur krijgt een lage kwetsbaarheid score en een stad met een laag percentage ICT-infrastructuur krijgt een hoge kwetsbaarheid score.

Opvangcapaciteit

Deze parameter is niet meegenomen in de neerslag index aangezien er geen opvang nodig is.

3.3.4 Landgebruik

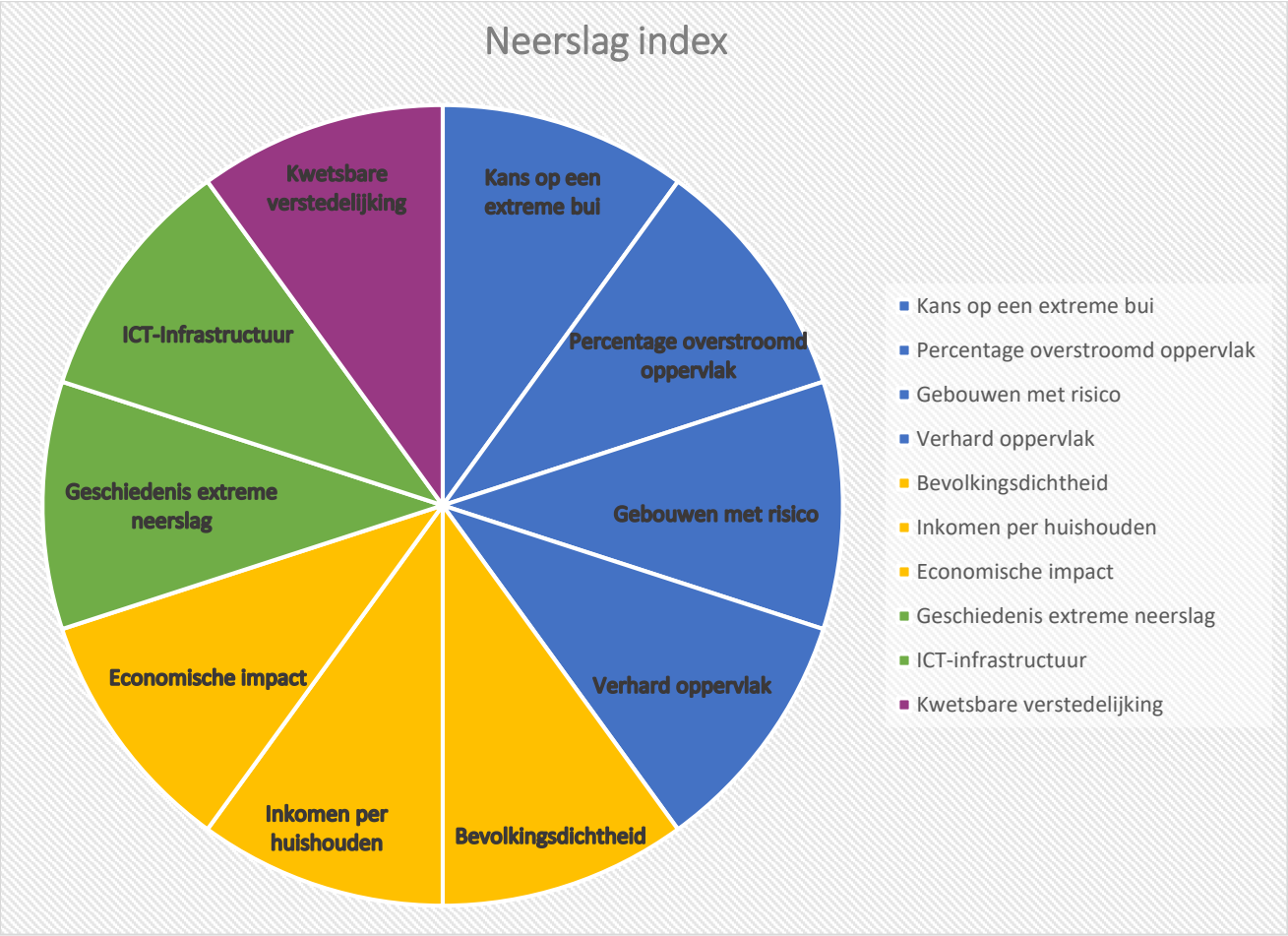
Kwetsbare verstedelijking

Dit heeft betrekking tot het percentage urbanisatie dat tussen 2018 en 2050 plaatsvindt naar de bestudeerde steden. Wanneer een stad snel groeit kan het zo zijn dat er te snel nieuwe woonwijken worden aangelegd die niet voldoende beschermd zijn tegen regenoverlast. Daarbij zal een stad die snel groeit meer schade ondervinden, de infrastructuur van de stad is immers in waarde toegenomen. Voor het percentage urbanisatie is gebruik gemaakt van de gegevens van het CBS.

Het laagste percentage bevolkingsgroei is gesteld op -18% behorende bij de gemeente Delfzijl dat de grootste bevolkingsafname kent. Het hoogste percentage bevolkingsgroei is gesteld op 34.7% behorende bij de gemeente Diemen dat de grootste bevolkingstoename kent.

Een stad met een hoog urbanisatietempo krijgt een hoge kwetsbaarheid score en een stad met een laag percentage urbanisatietempo krijgt een lage kwetsbaarheid score.

3.3.5 Neerslag Index



Figuur 11 - Neerslag index met parameters die betrekking hebben op extreme neerslag

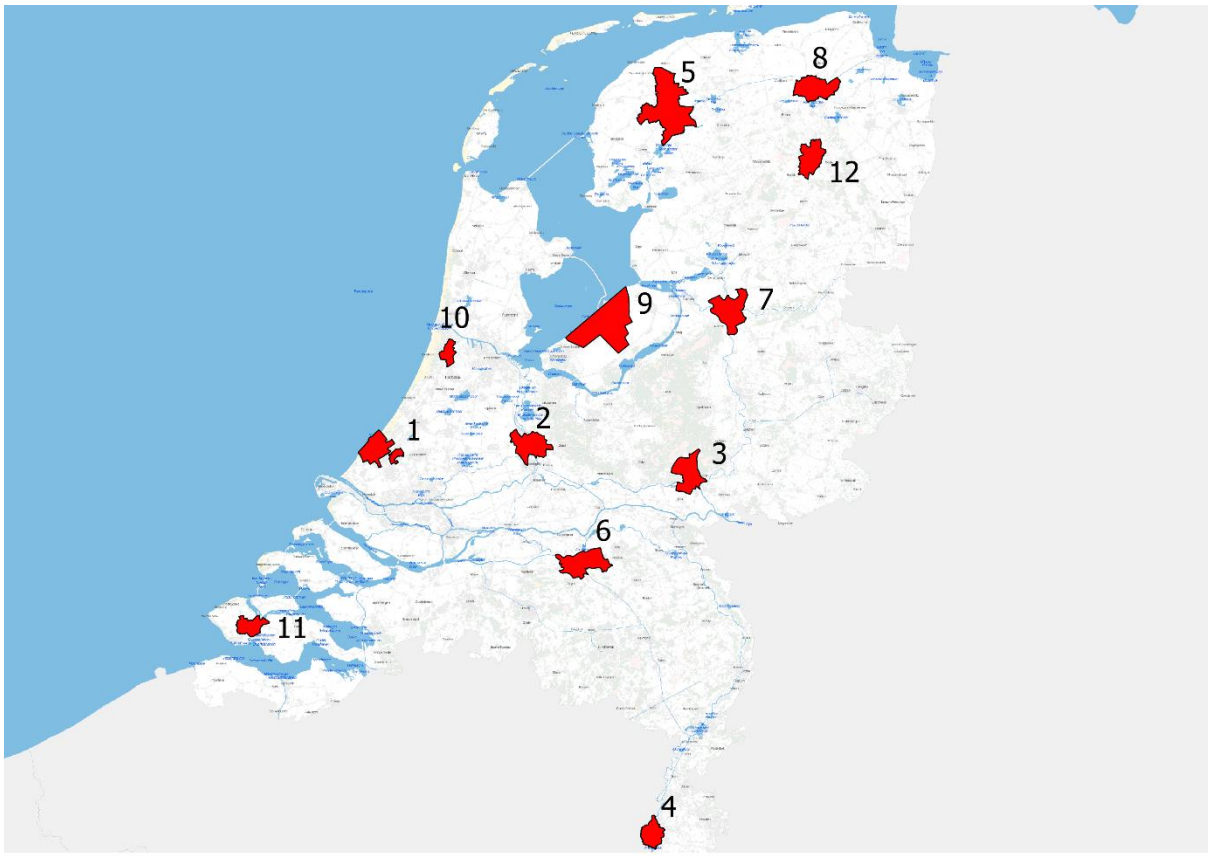
4. Resultaten

4.1 Neerslag risico 2018

Voor de berekeningen zie bijlage A.

RANK	STAD	RISICO (X1MILJOEN€/JAAR)
1	Den Haag	52.7
2	Utrecht	37.3
3	Arnhem	26.7
4	Maastricht	15.5
5	Leeuwarden	12.1
6	Den Bosch	10.8
7	Zwolle	10.2
8	Groningen	10.0
9	Lelystad	8.5
10	Haarlem	7.6
11	Middelburg	5.4
12	Assen	5.3

Tabel 3 - Neerslag risico voor 2018



Figuur 12 - Volgorde Risico Steden 2018

4.1.1 Analyse van de resultaten

Wanneer de ranking van het neerslag risico wordt vergeleken met de landoppervlakte valt er geen rechtstreeks verband uit af te leiden. Lelystad heeft het grootste oppervlak met 243 vierkante kilometer, waar Haarlem het kleinste oppervlak heeft met 29 vierkante kilometer. Deze steden hebben bijna hetzelfde neerslag risico. Daaruit valt af te leiden dat oppervlak niet bepalend is voor het neerslag risico per jaar. Wanneer oppervlak echter wordt gekoppeld aan woningdichtheid valt er wel een link te leggen. Zo heeft Lelystad een woningdichtheid van maar 141 woningen per vierkante kilometer, waar Den Haag 3054 woningen per vierkante kilometer heeft (CBS, 2018). Het blijkt dat wanneer er meer stedelijk gebied aanwezig is het neerslagrisico per jaar groter is.

Uit het resultaat van de WSS valt af te lezen dat kantoorgebied veel schade met zich meebrengt. Bij één hectare oppervlakte kantoorgebied met schade valt een kostenpost samen van 15 miljoen euro (zie figuur 4). De ranking valt te verklaren wanneer gekeken wordt naar het totale aantal bedrijfsvestigingen per stad (CBS, 2017). Zo heeft Den Haag het meeste met bijna 50.000 gevestigde bedrijven waar Middelburg met iets meer dan 3.000 het kleinste aantal gevestigde bedrijven heeft.

Uit het resultaat van de WSS valt ook af te lezen dat wegen veel schade met zich meebrengen. Uit de gegevens van het CBS (2017) wordt duidelijk dat Den Haag en Utrecht veel kilometers weg hebben vergeleken met de andere steden (zie figuur 13).

RANK	STAD	TOTALE WEGLENTE (KM)	VOLGORDE VAN RISICO
1	Utrecht	1180	Den Haag
2	Den Haag	1127	Utrecht
3	Den Bosch	845	Arnhem
4	Leeuwarden	789	Maastricht
5	Zwolle	750	Leeuwarden
6	Groningen	749	Den Bosch
7	Arnhem	739	Zwolle
8	Lelystad	717	Groningen
9	Maastricht	568	Lelystad
10	Assen	503	Haarlem
11	Haarlem	436	Middelburg
12	Middelburg	364	Assen

RANK	STAD	BEDRIJFSVESTIGINGEN (AANTAL BEDRIJVEN)	VOLGORDE VAN RISICO
1	Den Haag	48735	Den Haag
2	Utrecht	33420	Utrecht
3	Haarlem	16270	Arnhem
4	Den Bosch	15830	Maastricht
5	Groningen	15690	Leeuwarden
6	Arnhem	13020	Den Bosch
7	Zwolle	9450	Zwolle
8	Maastricht	9040	Groningen
9	Leeuwarden	8230	Lelystad
10	Lelystad	6115	Haarlem
11	Assen	4245	Middelburg
12	Middelburg	3350	Assen

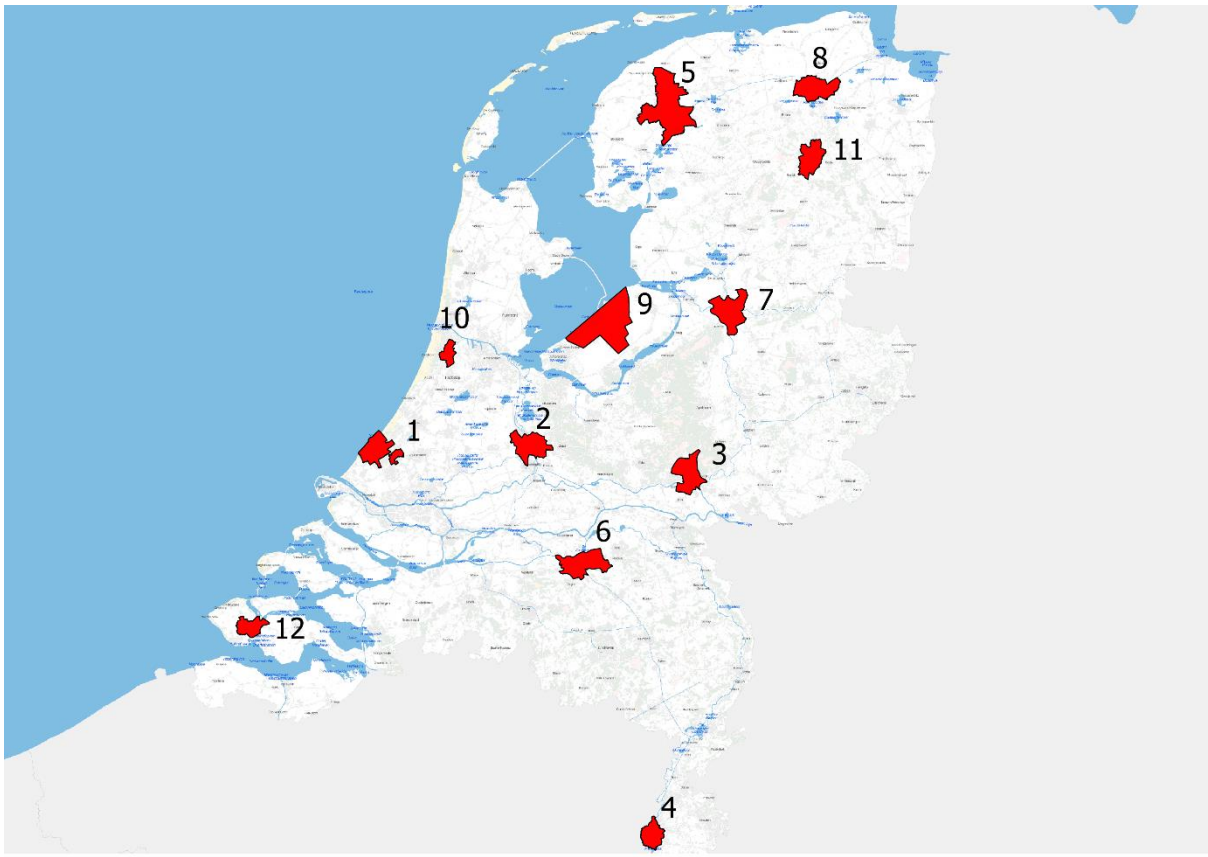
Figuur 13 - Weglengte & Bedrijfsvestigingen

4.2 Neerslag risico 2050

Voor de berekeningen zie bijlage A.

RANK	STAD	RISICO (X1MILJOEN€/JAAR)
1	Den Haag	112.0
2	Utrecht	76.1
3	Arnhem	51.4
4	Maastricht	29.2
5	Leeuwarden	23.1
6	Den Bosch	20.8
7	Zwolle	19.7
8	Groningen	17.8
9	Lelystad	15.7
10	Haarlem	15.1
11	Assen	10.9
12	Middelburg	10.0

Tabel 4 - Neerslag risico voor 2050



Figuur 14 - Volgorde Risico Steden 2050

4.2.1 Analyse van de resultaten

Wanneer het neerslag risico van het jaar 2050 wordt vergeleken met het neerslag risico van het jaar 2018 valt het volgende op:

De stad met het grootste risicotoename is Utrecht, dit valt te verklaren door het grote percentage urbanisatie dat wordt verwacht tussen nu en 2050. Er wordt in Utrecht namelijk een bevolkingsgroei van 21.4% verwacht. Ook Den Haag heeft te maken met een grote toename in neerslag risico. In Den Haag wordt een redelijk grote bevolkingsgroei verwacht van 13%. Maar daarnaast bevindt Den Haag zich ook in het gebied waar een toename van kans op extreme neerslag wordt verwacht van 8%.

In 2050 is het neerslag risico van Assen groter dan Middelburg in tegenstelling tot 2018. Ook dit komt door de verschillen in verwachte bevolkingsgroei, in Assen wordt een bevolkingsgroei verwacht die 2 keer zo groot is als bij Middelburg.

In Lelystad neemt het neerslag risico ten opzichte van 2018 nauwelijks toe. Dit komt omdat in het gebied waar Lelystad is gesitueerd geen toename in kans op extreme neerslag wordt verwacht. Dit in combinatie met het feit dat in Lelystad bijna geen bevolkingsgroei wordt verwacht maakt dat het neerslag risico bijna gelijk blijft.

Voor de steden wordt een groeipercentage van de economie van 1.9% verwacht. Voor de periode 2018-2050 betekent dit een totale economische groei dat wordt verwacht van 82.6%. Dat betekent een enorme toename van het neerslag risico voor 2050.

4.3 Neerslag index

Voor de berekeningen zie bijlage A. Met behulp van tabel 5 is de neerslag index opgesteld voor elke stad. De gegevens behorend bij de kwetsbaarheid scores 1, 5 en 10 zijn gegeven. Zo kan nagegaan wat de grootes zijn van de parameters van steden.

Kwetsbaarheid score	**1**	**5**	**10**	**Eenheid**
Kans op een extreme bui	< -5	5	> 10	%
Percentage overstroomd oppervlak	14	19	25	%
Gebouwen met risico	3.000	4.500	65.000	Aantal gebouwen
Verhard oppervlak	3	33	70	%
Bevolkingsdichtheid	23	2.870	6.430	Inwoners/km2
Inkomen per huishouden	58.300	34.200	23.600	Euro/Jaar
Economische impact	0.06	0.7	9.9	%
Geschiedenis extreme neerslag	2.000	250	0	Aantal meldingen
ICT-infrastructuur	0.05	0.38	1.5	1/km
Kwetsbare verstedelijking	-18	10	34.7	%

Tabel 5 - Kwetsbaarheid scores als input voor neerslag index

4.3.1 Analyse van de resultaten

Voor alle parameters zijn per stad de scores bij elkaar opgeteld. Zo is gekeken wat volgens de neerslag index de steden zijn die het meest kwetsbaar zijn ten opzichte van extreme neerslag. Hier is aangenomen dat elke parameter hetzelfde gewicht heeft.

RANK	STAD	TOTALE SCORE PARAMETERS
1	Den Haag	71
2	Haarlem	63
3	Utrecht & Maastricht	58
4	Groningen	56
5	Leeuwarden	52
6	Arnhem & Den Bosch	50
7	Zwolle	49
8	Assen	48
9	Middelburg	43
10	Lelystad	42

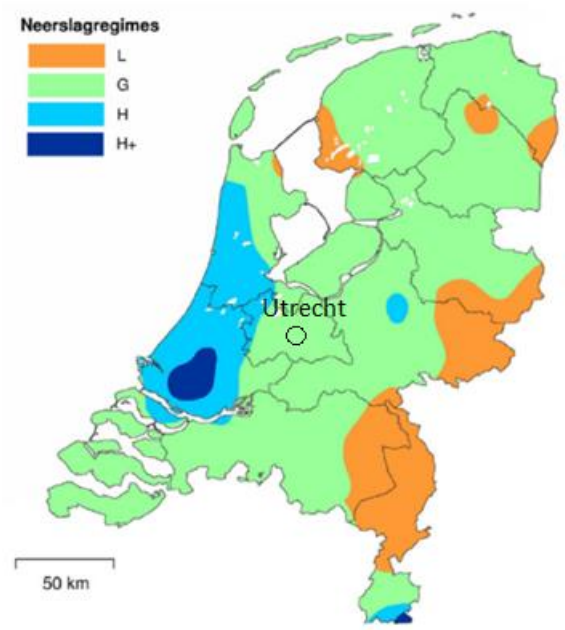
Figuur 15 - Som scores parameters neerslag index

De volgorde van het neerslag index is ongeveer hetzelfde als die van het neerslag risico. Haarlem vormt een uitzondering, volgens de neerslag index is Haarlem namelijk wel kwetsbaar. Dit valt te verklaren door het hoge percentage verhard oppervlak dat Haarlem heeft naast een hoge bevolkingsdichtheid en veel wegen.

Voor elke parameter is gekeken hoe deze is bepaald of berekend voor Utrecht, met de resultaten is uiteindelijk voor Utrecht de neerslag index getoond. De overige neerslag indexen staan in bijlage B. Er is gekozen voor Utrecht aangezien deze stad hoog scoorde op het neerslag risico. Daarbij is het interessant om te kijken of Utrecht ook hoog scoort op de neerslag index en te onderzoeken waarom dit wel of niet het geval is. Aangegeven is of Utrecht goed of slecht scoort op een bepaalde parameter. In de discussie is verder ingezoomd op de parameters en is gekeken waar de knelpunten zitten en welke parameters wellicht zorgen voor onjuiste waarnemingen.

Kans op een extreme bui

In figuur 16 is aangegeven waar Utrecht zich bevindt op de kaart met verschillende neerslagregimes. Utrecht bevindt zich in het gebied met neerslagregime G, dit betekent dat er een verandering in kans op extreme neerslag wordt verwacht tussen de -5% en 5%. Er zou dus een toename in het aantal neerslagextremen kunnen voorkomen, maar ook een afname. Voor deze parameter is het gemiddelde genomen van de verwachte verandering. Dit komt voor Utrecht uit op een verandering van 0%. Aangezien er geen verandering wordt verwacht in extreme neerslagpieken is Utrecht op deze parameter niet kwetsbaar ten opzichte van extreme neerslag.



Figuur 16 - Locatie Utrecht ten opzichte van het neerslagregime

Verhard oppervlak

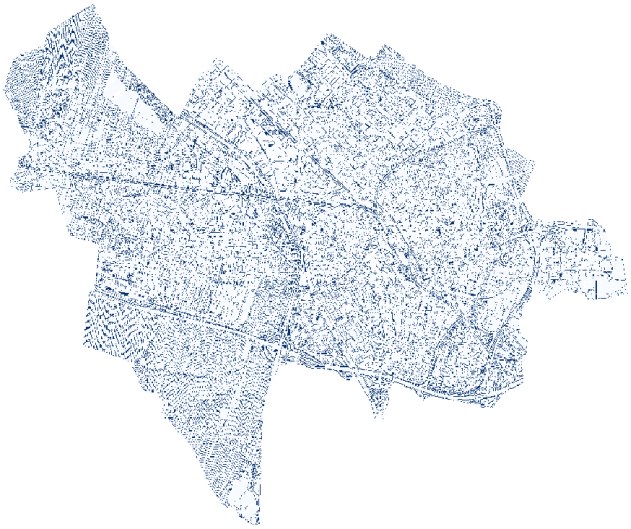
Het groene gebied in onderstaand figuur geeft de grenzen weer van de stad Utrecht. Daarin is met behulp van de TOP10NL kaartendatabase het verharde oppervlak geïmporteerd. Het verhard oppervlak is in figuur 16 te zien als bebouwing, de

plekken waar niks te zien is zijn gecategoriseerd als onverhard oppervlak. Utrecht heeft een verhard oppervlak van 57.6%, dit is een zeer hoog percentage. Dit maakt dat Utrecht op deze parameter zeer kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag.

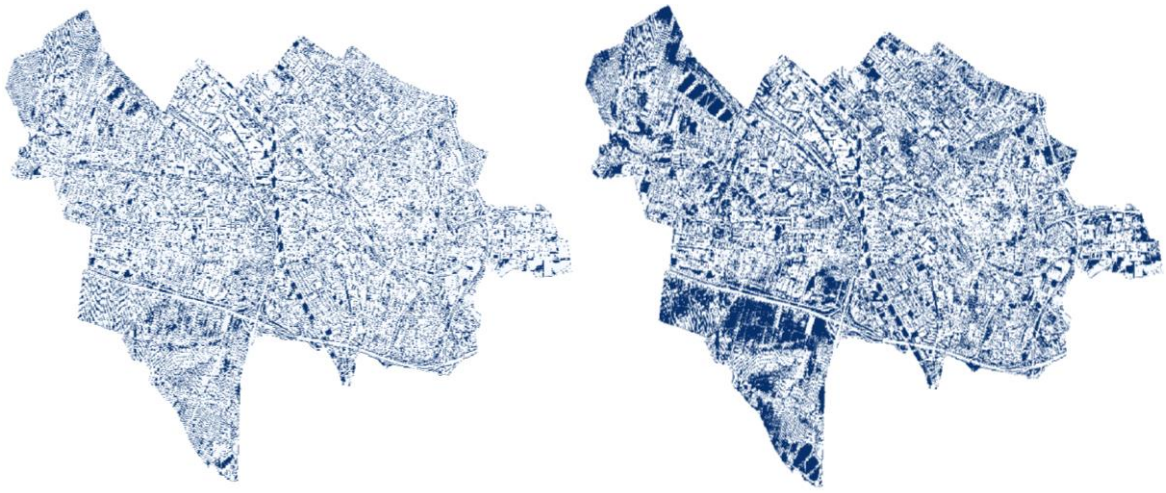
Figuur 17 - Verhard oppervlak Utrecht

Percentage overstroomd oppervlak

Voor het bepalen van het percentage overstroomd oppervlak is gebruik gemaakt van de kaarten met een herhalingstijd van 10 jaar. Utrecht heeft een redelijk tot hoog percentage overstroomd oppervlak wat ervoor zorgt dat Utrecht op deze parameter kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag. Als we het percentage overstroomd oppervlak van Utrecht van 19.6% behorende bij een herhalingstijd van 10 jaar vergelijken met die van 100 en 1000 jaar valt het volgende op. Het percentage overstroomd oppervlak dat hoort bij een herhalingstijd van 100 jaar is 27.2% en die bij een herhalingstijd van 1000 jaar maar liefst 45.4%. Aangezien een hogere herhalingstijd gepaard gaat met een hogere neerslagintensiteit is het ook te verwachten dat een groter gedeelte van de stad overstroomd is. Relatief gezien tussen de steden neemt het percentage overstroomd oppervlak toe met zo'n 40% tussen T10 en T100 en met zo'n 130% tussen T10 en T1000. Aangezien tussen de steden relatief weinig verschil zit in de toenames van het percentage overstroomd oppervlak is volstaan met een ranking op basis van het percentage overstroomd oppervlak met een herhalingstijd van 10 jaar.



Figuur 18 - T10 percentage overstroomd oppervlak



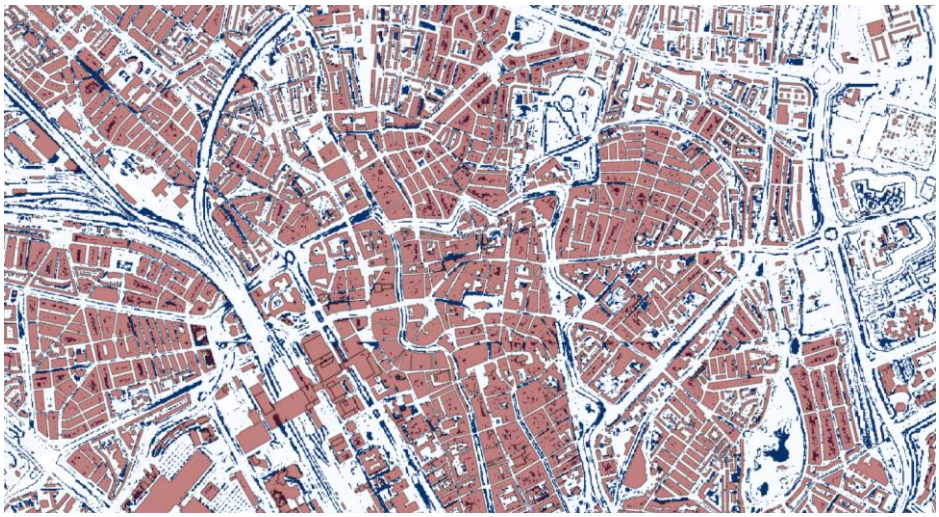
Figuur 19 - T100 percentage overstroomd oppervlak *T1000 percentage overstroomd oppervlak*

gid	code	gemeentena	T10 Count	T10 Sum	T100 Count	T100 Sum	T1000Count	T1000 Sum
298	344	Utrecht	13040148	2558469	13823417	3762791	13360443	6064384

Figuur 20 - Gegevens voor berekening percentage overstroomd oppervlak

Gebouwen met risico

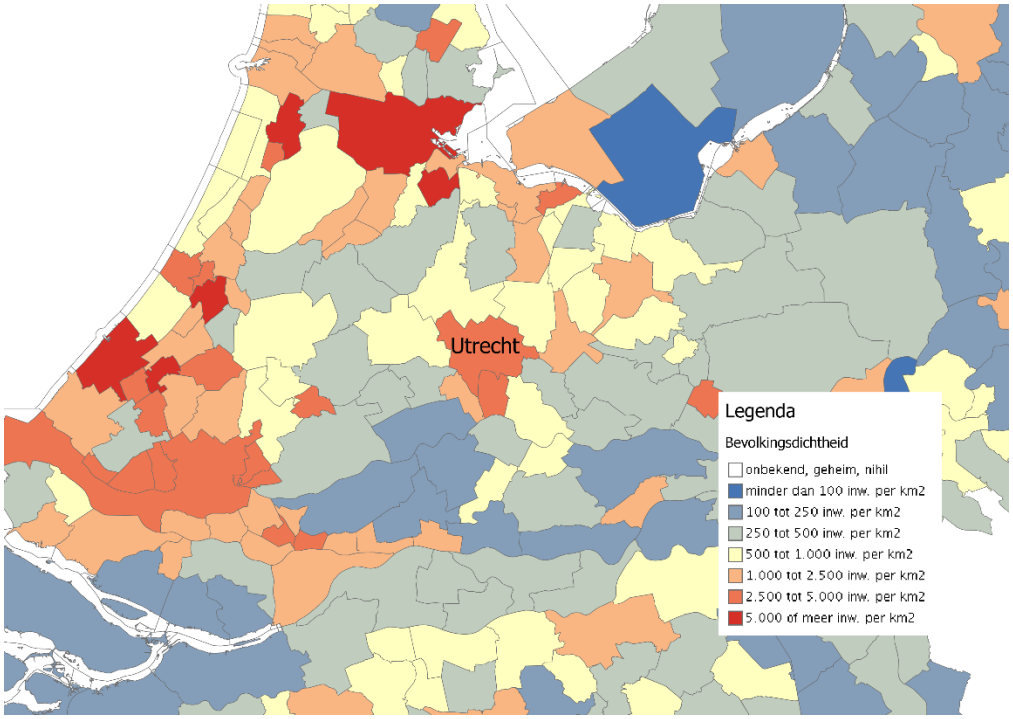
Met behulp van de gegenereerde kaart met percentage overstroomd oppervlak en de kaart met gebouwen vanuit de TOP10NL database is een figuur gegenereerd waarin te zien is hoeveel gebouwen zich bevinden in overstroomd gebied. Daaruit volgt dat Utrecht een van de grootste aantallen gebouwen heeft waardoor Utrecht op deze parameter zeer kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag.



Figuur 21 - Gebouwen in overstroomd gebied in Utrecht

Bevolkingsdichtheid

Met behulp van de PDOK kaart bevolkingskernen is visueel per gemeente weergegeven wat de bevolkingsdichtheid is. Zoals figuur 22 aangeeft heeft Utrecht een redelijk hoge bevolkingsdichtheid waardoor Utrecht op deze parameter vrij kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag.



Figuur 22 - Bevolkingsdichtheid gemeenten

Inkomen per huishouden

Utrecht heeft een inkomen per huishouden van zo'n 34.300 euro, dit is vergeleken met de andere steden het hoogste. Aangezien een hoog inkomen per huishouden aangeeft dat de huizen vaak goed zijn onderhouden maar ook dat de inwoners in staat zijn om renovatiemaatregelen uit te voeren. Geconcludeerd is dat Utrecht op deze parameter niet kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag.

Economische impact

Utrecht heeft een impact van 2.5% in Nederland, dit betekent dat van het totale BBP van Nederland maar liefst 2.5% wordt verdiend in Utrecht. Aangezien Utrecht dus heel belangrijk is voor de Nederlandse economie zal een regenoverstroming zorgen voor een grote impact. Utrecht is daarom op deze parameter kwetsbaar ten opzichte van extreme neerslag.

Geschiedenis extreme neerslag

In het afgelopen jaar zijn er in Utrecht 280 meldingen van wateroverlast gedaan, dit zijn er vergeleken met andere steden vrij veel. Omdat het bewustzijn voor wateroverlast hierdoor redelijk groot is scoort Utrecht op deze parameter goed en is het niet kwetsbaar ten opzichte van extreme neerslag.

ICT-infrastructuur

Zoals op figuur 23 is te zien heeft Utrecht een zeer groot wegennetwerk, daarbij zijn er ook een groot aantal hoofdwegen waar te nemen. Met 1.2 kilometer aan hoofdwegen per vierkante kilometer oppervlakte van de stad heeft Utrecht daarmee de beste infrastructuur. Daardoor is Utrecht op deze parameter niet kwetsbaar ten opzichte van extreme neerslag aangezien er goede aanvoerroutes beschikbaar zijn voor hulpdiensten.

Figuur 23 - Wegennetwerk Utrecht

Kwetsbare verstedelijking

De bevolkingsgroei die wordt verwacht tussen 2018 en 2050 voor Utrecht is 21.4%, dit is van de onderzochte steden de grootste verwachte groei. Wanneer een stad een grote groei doormaakt zal een extreme regenbui in de toekomst ook meer schade toebrengen. Daarom zal Utrecht op deze parameter zeer kwetsbaar zijn ten opzichte van extreme neerslag.

4.3.2 Neerslag index Utrecht

Figuur 24 - Neerslag index Utrecht

5. Discussie

Hier is kritisch gekeken naar de methode die is gebruikt. Er is gekeken of de resultaten een goede weergave geven van de werkelijkheid. Dit is onderbouwd met eventuele tekortkomingen in de gebruikte data of modellen.

5.1 Neerslag risico

Voor Leeuwarden is door van der Reijden (2017) het overstromingsrisico verkregen. Dit risico is vergeleken met het neerslag risico dat via dit project is verkregen. Het overstromingsrisico dat volgt uit van der Reijden (2017) is 0.6 miljoen euro per jaar, het neerslag risico is 12.1 miljoen euro per jaar. Daaruit volgt dat Leeuwarden veel kwetsbaarder is ten opzichte van extreme neerslag dan overstromingen. Dit valt te verklaren doordat het stadscentrum van Leeuwarden hoger ligt dan de omgeving waardoor een overstroming in het centrum geen schade toebrengt. Voor neerslag maakt het niet uit dat het centrum hoger ligt aangezien regen ook daar voor overlast zorgt.

Het is belangrijk om te kijken naar het neerslag risico en vast te stellen of dit een juiste representatie van de werkelijkheid geeft. De waterdieptes die zijn gebruikt om het neerslag risico te bepalen zijn niet perfect aangezien er verschillende versimpelingen en aannames zijn gemaakt. De waterdieptes zijn met behulp van vuistregels afgeleid. Daarbij is een percentage van 50% verhard aangenomen wat onjuist is voor de meeste steden (zie parameter percentage verhard). De doordringbaarheid van de aanwezige grond is niet meegenomen. Daarnaast zijn aannames gemaakt voor de berging bij verhard of onverhard oppervlak. Het neerslag risico geeft dus niet de exacte waardes maar geeft een algemeen inzicht van het risico dat wordt verwacht. Via het neerslag risico kan worden bepaald of de stad nader moet worden onderzocht.

De WSS gaat uit van schade met betrekking tot het herstellen van de infrastructuur tot de oorspronkelijke staat. Daarbij kan worden afgevraagd of de schadebedragen waar de WSS mee rekent niet te hoog uitvallen. Zo staat voor één hectare kantoorgrond waar schade is toegebracht door extreme neerslag een kostenpost van 15 miljoen euro. Dit is het maximale bedrag wanneer dit wordt vergeleken met de standaard vuistregels voor renovatiekosten. Deze vuistregels komen neer op een bedrag van 750-1500 euro per vierkante meter (elsabouw.be, 2016). Voor één hectare geeft dit 7.5 en respectievelijk 15 miljoen euro. Het schadebedrag dat voor kantoorgebied is berekend door de WSS zou dus ook in realiteit op de helft uit kunnen komen.

Door de toenemende urbanisatie en de daarbij behorende vereiste toename in mobiliteit zal de infrastructuur en inrichting van de steden veranderen. De economische groei en urbanisatie is meegenomen in het neerslag risico voor 2050. De verandering van de inrichting is dat niet, dit zorgt echter wel voor een verandering van het neerslag risico voor 2050. Het is lastig om een goede schatting te doen over hoe de ruimtelijke inrichting van een stad zal veranderen in een tijdsbestek van 32 jaar. Dit kan bijvoorbeeld gehaald worden uit gemeentelijke plannen die een visie beschrijven over hoe de stad er in de toekomst uit komt te zien. Als bekend is dat een stad een grote bevolkingsgroei zal ondervinden en daarbij veel nieuwbouw uit hoogbouw zal bestaan. Dan zal de stad een lagere toename van kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag ondervinden dan verwacht wordt door de bevolkingsgroei. Er is op dit moment niet een goede methode beschikbaar die beschrijft hoe de inrichting van de stad de kwetsbaarheid beïnvloedt.

5.2 Neerslag index

Bij de neerslag index is gekozen om de minimale en maximale parameter zo te kiezen dat elke stad in Nederland op dit moment kan worden toegevoegd zonder dat zij buiten deze minimale of maximale waardes vallen. Het is wellicht nodig om in de toekomst, denk daarbij aan het jaar 2050 deze minimale en maximale waardes aan te passen aangezien sommige steden een grote verandering zouden kunnen doormaken rond bijvoorbeeld de parameter inkomen per huishouden.

Er is veel data beschikbaar voor de bepaling van de parameters van de neerslag index in Nederland. Maar niet voor elke parameter is de data helemaal sluitend. Zo is voor de bepaling van de geschiedenis van extreme neerslag gebruik gemaakt van het totaalaantal meldingen van wateroverlast. Hier is het alleen niet duidelijk of het hier gaat om wateroverlast door extreme neerslag of door andere oorzaken zoals het lekken van een waterleiding.

Voor de city index is het van belang dat de gebruikte gegevens niet oud zijn aangezien dit project een methode beschrijft waarin een city index is gemaakt voor het jaar 2018. Als daarbij gegevens zijn gebruikt uit bijvoorbeeld het jaar 2000 dan is de city index niet representatief voor de huidige situatie. Voor het bepalen van het neerslag risico is gebruik gemaakt van de neerslagintensiteiten van STOWA uit het jaar 2018. Voor de neerslag index zijn de oudste gegevens uit het jaar 2015 voor de bepaling van het inkomen per huishouden. Het is dan ook de bedoeling dat de city index elk jaar opnieuw kan worden opgesteld waarbij de mogelijkheid er is om extra steden toe te voegen. Het is belangrijk om te noemen dat niet voor alle bronnen vastgesteld is dat deze elk jaar worden geüpdatet. Zo is dat voor het CBS wel het geval maar bij de gebruikte neerslagregimes van Beersma (2015) niet.

6. Conclusie

Het doel van dit project was om een ranking te maken van de genoemde steden op basis van kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag en hierbij de risico's van extreme neerslag in kaart te brengen.

Het neerslag risico in 2018 blijkt voor Den Haag het grootst te zijn. Dit komt door de hoeveelheid stedelijk gebied dat aanwezig is in Den Haag. Er is een rechtstreeks verband tussen de grootte van het risico en de grootte van het stedelijk gebied. Zo valt op dat Lelystad het grootste landoppervlak heeft maar bij lange na niet het grootste risico. Lelystad heeft ongeveer een even groot risico als Haarlem terwijl het oppervlak van Lelystad 10 keer zo groot is als Haarlem. Het blijkt dat naast de grootte van het landoppervlak de dichtheid van gebouwen belangrijk is. Lelystad heeft een hele lage dichtheid van gebouwen waardoor extreme neerslag niet veel schade toebrengt. Den Haag daarentegen heeft een vrij groot oppervlak en een grote dichtheid van gebouwen waardoor het te verklaren valt dat Den Haag het grootste risico heeft. Dat Den Haag het grootste risico heeft valt ook te verklaren door het grote aantal kantoren, kilometers wegdek en spoor dat aanwezig is. Hoe meer kantoren, wegen en sporen er aanwezig zijn hoe groter de schade is door extreme neerslag.

Tussen 2018 en 2050 is Utrecht de stad met de grootste risicotoename. Dit kan worden verklaard door het grote verwachte percentage urbanisatie. In Utrecht wordt een bevolkingsgroei van 21.4% verwacht. Naast Utrecht wordt ook bij Den Haag een grote risicotoename verwacht. Alhoewel in Den Haag een vrij gemiddelde bevolkingsgroei wordt verwacht van 13% wordt er daarnaast ook een toename van kans op extreme neerslag verwacht van 8%.

De volgorde van de ranking van hoofdsteden in Nederland zoals deze is bepaald voor 2018 is niet geheel hetzelfde als in 2050. Zo wisselen Assen en Middelburg van plek. Dit kan worden verklaard door het verschil in het verwachte percentage urbanisatie. Waarbij in Assen een bevolkingsgroei wordt verwacht die 2 keer zo groot is als die van Middelburg.

Wanneer het neerslag risico dat berekend is met de WSS wordt vergeleken met de neerslag index die berekend is met open data valt het volgende op. Als de scores van de parameters bij elkaar zijn opgeteld blijkt dat Den Haag ook op de neerslag index het meest kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag. Dit gevolgd door Haarlem, Utrecht & Maastricht. De volgorde van het neerslag risico is ongeveer hetzelfde als bij de neerslag index. Haarlem is de grote uitzondering, waar Haarlem volgens het neerslag risico niet kwetsbaar is ten opzichte van extreme neerslag geeft de neerslag index een andere uitslag. Volgens de neerslag index is Haarlem wel degelijk kwetsbaar ten opzichte van extreme neerslag. Dit komt vooral doordat Haarlem het hoogste percentage verhard oppervlak heeft en een hoge bevolkingsdichtheid. Daarnaast heet Haarlem ook nog heel veel wegen.

De neerslag index geeft duiding aan het neerslag risico en de mate van risicobeheersing en geeft dit per categorie weer. De steden zien aan de hand van de neerslag index op welk gebied zij slecht scoren. Dan weten de steden waar verbetering mogelijk is en kunnen de steden de bijbehorende aanpassingsmogelijkheden onderzoeken.

7. Aanbevelingen

7.1 Neerslag risico

De gebruikte HKV 'waterviewer' geeft kaarten met waterdieptes. Om gebruik te kunnen maken van de WSS moeten deze kaarten omgezet worden in waterstanden ten opzichte van NAP. Het zou handig zijn wanneer er een database van kaarten beschikbaar was met waterstanden ten opzichte van NAP. Zo kan bijvoorbeeld het gemeentelijk bestuur met weinig tot geen kennis van QGIS ook risicoberekeningen maken voor haar gemeente.

Momenteel is geen goede methode beschikbaar om te beschrijven in welke mate de ruimtelijke inrichting van een stad de kwetsbaarheid beïnvloedt. Dit is wel een goede parameter om mee te nemen voor het neerslag risico in 2050. Zo zou aan de hand van gemeentelijke plannen kunnen worden bepaald wat voor soort aanpassingen een stad gaat doen. Deze aanpassing kunnen worden onderverdeeld in verschillende categorieën. Zo zou in bijvoorbeeld de categorie natuur de aanleg van een park kunnen worden toegevoegd. Aangezien dit een positief effect heeft op kwetsbaarheid ten opzichte van extreme neerslag kan deze aanpassing als positief worden bestempeld. Dit kan worden gedaan voor alle aanpassingen die een stad in zijn plan beschrijft. Er moet dus een inschatting worden gemaakt per aanpassing of deze de kwetsbaarheid positief of negatief beïnvloedt. Als dit juist is gedaan kan het aantal positieve aanpassingen vergeleken worden met het aantal negatieve aanpassingen. Zo wordt een beeld geschetst van een stad of deze in totaliteit aanpassingen aan het maken is die positief zijn.

7.2 Neerslag index

De parameter geschiedenis extreme neerslag is op dit moment getoetst door de meldingen van wateroverlast te peilen in de steden. Het is niet de beste manier om erachter te komen hoe bewust de inwoners de gevolgen van extreme neerslag kunnen inschatten en in hoeverre de inwoners in staat zijn goed te anticiperen en zo de schade laag te houden. Het bewustzijn van de inwoners zou beter getoetst kunnen worden wanneer de gemeente actief in gesprek gaat met de bevolking. Daarbij zou de gemeente inwoners vrijwillig een vragenlijst kunnen laten invullen met betrekking tot extreme neerslag. Zo kan een nauwkeurige inschatting worden gemaakt.

Voor een nog specifiekere neerslag index zou gebruik gemaakt kunnen worden van extra parameters met betrekking tot extreme neerslag. Zo maakt Sperotta (2016) gebruik van de kwetsbaarheid parameter helling. Voor de steden in Nederland zou deze parameter meegenomen kunnen worden. De helling geeft namelijk aan in hoeverre water afstroomt of blijft staan en voor overlast zorgt.

Op dit moment hebben alle parameters in de neerslag index hetzelfde gewicht. Maar dat is in werkelijkheid niet reëel, er zitten namelijk verschillen tussen deze parameters. Er is nog geen methode beschikbaar die goed een verschillend gewicht kan geven aan deze parameters. Wanneer deze gewichten wel worden toegekend zal de neerslag index een nog betere representatie geven over de kwetsbaarheid van een stad. Alle parameters zouden in een grafiek kunnen worden geplaatst. Per parameter kan worden onderzocht hoe groot de invloed is op de kwetsbaarheid en vervolgens kan er een gewicht aan worden gegeven.

Literatuurlijst

Heavy rainfall: An underestimated environmental risk for buildings? Naumann, Thomas; Neubert, Marco; Guenther, Benno 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON FLOOD RISK MANAGEMENT (FLOODRISK 2016) 7 2016 2267-1242

Fowler, H. J., & Ekström, M. (2009). Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes. International Journal of Climatology, 29(3), 385-416.

Abebe, Y., Kabir, G., & Tesfamariam, S. (2018). Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. Journal of Cleaner Production, 174, 1629-1641.

Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2003). Climate modelling: severe summertime flooding in Europe. Nature, 421(6925), 805.

Agilan, V., & Umamahesh, N. V. (2015). Detection and attribution of non-stationarity in intensity and frequency of daily and 4-h extreme rainfall of Hyderabad, India. Journal of Hydrology, 530, 677-697.

Komolafe, A. A., Herath, S., & Avtar, R. (2018). Methodology to Assess Potential Flood Damages in Urban Areas under the Influence of Climate Change. Natural Hazards Review, 19(2), 05018001.

V. Gallina, S. Torresan, A. Critto, A. Zabeo, E. Semenzin, A. Marcomini(Eds.), Development of a risk assessment methodology to estimate risk levels, Part A (2008)

Verzekeraars, Verbond Van. “Premie.” Verbond Van Verzekeraars, 10 Mar. 2018, www.verzekeraars.nl/home.

J.M. Shepherd, H. Pierce, A.J. NegriRainfall modification by major urban areas: observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite J. Appl. Meteorol., 41 (689–701) (2002), p. 2002

Barredo J.I., 2009. Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9: 97–104. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Editors).

Bueno I. Escuder, J.T. Castillo Rodriguez, S. Zechner, C. Jobstl, Momparler S. Perales, G. PetacciaA quantative flood risk analysis methedology for urban areas with integration of social research data Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12 (2012), pp. 2843-2863

T.G. Schmitt, M. Thomas, N. EttrichAnalysis and modeling of flooding in urban drainage systems J. Hydrol., 299 (2004), pp. 300-311

Yu, D., Yin, J., & Liu, M. (2016). Validating city-scale surface water flood modelling using crowd-sourced data. Environmental Research Letters, 11(12), 124011.

Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., & Marcomini, A. (2016). A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy). Science of The Total Environment, 562, 1031-1043.

Vreeken, W. (2013). Schadeberekening HIS-SSM en de WaterSchadeSchatter: wat zijn de empirische verschillen tussen deze modellen (Bachelor's thesis, University of Twente).

Verschuur, J., Kolen, B., & van Veelen, P. C. (2017). Flood Delta City Index: Drivers to Support Adaptation of Cities.

Beersma, J., Bessembinder, J., Brandsma, T., Versteeg, R., & Hakvoort, H. (2015). Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

Oldenborgh, G. V., & Lenderink, G. Hoe vaak komt extreme neerslag zoals op 28 juli tegenwoordig voor, en is dat anders dan vroeger?.

Buishand, T. A., De Martino, G., Spreeuw, J. N., & Brandsma, T. (2013). Homogeneity of precipitation series in the Netherlands and their trends in the past century. International journal of climatology, 33(4), 815-833.

Yuliy, Hristov. "Elsa Bouw | Aannemer Totaalrenovatie." Bouwbedrijf Elsa Bouw, 1 Jan. 2016, www.elsabouw.be/verbouwingen.html.

Lenderink, G. E. E. R. T., Van Oldenborgh, G. J., Van Meijgaard, E., & Attema, J. (2011). Intensiteit van extreme neerslag in een veranderend klimaat. Meteorologica, 20(2), 17-20.

Rijkswaterstaat, D. G., Alterra, W. U. R., & en Milieu, M. V. I. Nederland warmt op!: zijn we voldoende voorbereid?.

Manders, T., & Kool, C. J. M. (2015). Nederland in 2030 en 2050: Twee Referentiescenario's: Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. CPB.

Nachshon, U., Netzer, L., & Livshitz, Y. (2016). Land cover properties and rain water harvesting in urban environments. Sustainable Cities and Society, 27, 398-406.

Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J. T., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., & Petaccia, G. (2012). A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data. Natural hazards and earth system sciences, 12(9), 2843-2863.

en Milieu, M. V. I. (2016). Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland.

Bijlage A: Berekeningen

A.1 Neerslag risico 2018

Voor de berekening van het risico per jaar is gebruik gemaakt van:

$$Totale\ risico = \frac{1}{1000} * S_1 + \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1000}\right) * \frac{S_1 + S_2}{2} + \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{100}\right) * \frac{S_2 + S_3}{2}$$

De schade behorende bij een herhalingstijd van 1000 jaar is in de formule aangegeven met S1, daarnaast is de schade met herhalingstijd van 100 jaar aangegeven met S2 en de schade bij een herhalingstijd van 10 jaar is aangegeven met S3. Zo is per stad de risico per jaar berekend.

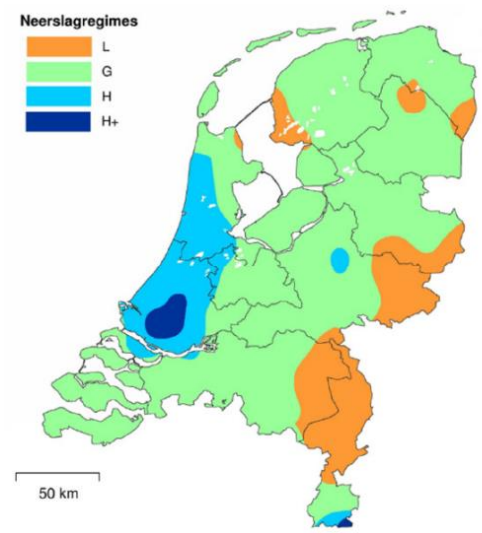
Steden	**Schade T10**	**Schade T100**	**Schade T1000**	**Risico per jaar**
Den Haag	€375.3m	€605.6m	€1.054.0m	€52.7m
Utrecht	€294.3m	€412.7m	€661.7m	€37.3m
Haarlem	€54.1m	€87.5m	€156.2m	€7.6m
Arnhem	€233.7m	€288.6m	€390.8m	€26.7m
Den Bosch	€81.8m	€119.7m	€222.5m	€10.8m
Zwolle	€70.9m	€118.9m	€202.5m	€10.2m
Lelystad	€64.5m	€94.1m	€166.9m	€8.5m
Maastricht	€92.2m	€192.5m	€337.6m	€15.5m
Middelburg	€45.5m	€56.8m	€92.2m	€5.4m
Assen	€40.4m	€58.6m	€108.5m	€5.3m
Leeuwarden	€88.5m	€135.7m	€245.0m	€12.0m
Groningen	€74.6m	€111.5m	€208.4m	€10.0m

A.2 Neerslag risico 2050

Voor de berekening van het neerslag risico in 2050 is gekeken naar hoe de kans maar ook het gevolg verandert.

Kans

In figuur 24 staan de verschillende neerslagregimes van Nederland. Waar de stad zich bevindt in Nederland bepaalt in welk neerslagregime de stad valt. Wanneer een stad zich bevindt in regime H geeft dit een 8% grotere kans op extreme buien. Als een stad zich bevindt in regime G vindt er geen verandering in kans plaats. Een stad die zich bevindt in regime L heeft een 7% lagere kans op extreme buien. Door te bekijken waar de steden zich bevinden op het plaatje is de volgende tabel verkregen:



Figuur 24 - Neerslagregime

Den Haag	Haarlem	Middelburg	Lelystad	Utrecht	Den Bosch	Arnhem	Zwolle	Assen	Maastricht	Leeuwarden	Groningen
H	H	G	G	G	G	G	G	G	G	G	L

Vervolgens is de vergelijking die is gebruikt voor het berekenen van het neerslag risico in het jaar 2018 omgeschreven naar het neerslag risico voor het jaar 2050.

Voor Den Haag & Haarlem is dit:

$$Totale\ risico = \frac{1}{920} * S_1 + \left(\frac{1}{92} - \frac{1}{920}\right) * \frac{S_1 + S_2}{2} + \left(\frac{1}{9.2} - \frac{1}{92}\right) * \frac{S_2 + S_3}{2}$$

Voor Groningen is dit:

$$Totale\ risico = \frac{1}{1070} * S_1 + \left(\frac{1}{107} - \frac{1}{1070}\right) * \frac{S_1 + S_2}{2} + \left(\frac{1}{10.7} - \frac{1}{107}\right) * \frac{S_2 + S_3}{2}$$

Voor de rest van de steden blijft de vergelijking:

$$Totale\ risico = \frac{1}{1000} * S_1 + \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1000}\right) * \frac{S_1 + S_2}{2} + \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{100}\right) * \frac{S_2 + S_3}{2}$$

Schade

Voor de verandering van de schade tussen 2018 en 2050 is gekeken naar de bevolkingsgroei en economische groei van een stad.

Bevolkingsgroei 2018-2050:

Den Haag	Haarlem	Middelburg	Lelystad	Utrecht	Den Bosch	Arnhem	Zwolle	Assen	Maastricht	Leeuwarden	Groningen
13%	15.8%	3.5%	2.8%	21.4%	9.7%	9.9%	10.3%	6.1%	5.3%	8.9%	7.9%

Economische groei 2018-2050:

Er wordt per jaar een groeipercentage van de economie van 1.9% verwacht, met 32 jaren verschil geeft dit via 1.019^{32} een totale economische groei van 82.6%.

De verandering in schade kan is dan berekend als volgt:

$$S_{2050} = S_{2018} * (1 + \frac{Percentage\ bevolkingsgroei}{100} + \frac{Percentage\ economische\ groei}{100})$$

Per stad is de juiste vergelijking van het totale risico gebruikt met de juiste verandering in schade, dit leidt tot het risico per jaar voor 2050.

Den Haag	Haarlem	Middelburg	Lelystad	Utrecht	Den Bosch	Arnhem	Zwolle	Assen	Maastricht	Leeuwarden	Groningen
112.0m	15.1m	10.0m	15.7m	76.1m	20.8m	51.4m	19.7m	10.9m	29.2m	23.1m	17.8m

A.3 Neerslag index

Kans op voorkomen extreme bui

Den Haag	Haarlem	Middelburg	Lelystad	Utrecht	Den Bosch	Arnhem	Zwolle	Assen	Maastricht	Leeuwarden	Groningen
H	H	G	G	G	G	G	G	G	G	G	L
8%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-7%

Percentage overstroomd oppervlak

De kolom 'Maascount' geeft het totaalaantal rasters van de stad, de kolom 'Maassum' geeft het aantal rasters met een waterdiepte groter dan 10 centimeter. De kolom 'Percentage' geeft het percentage overstroomd oppervlak als gevolg van (Maassum/Maascount).

	code	gemeentena	Maascount	Maassum	Percentage
1	0202	Arnhem	13780556.00000...	2437492.000000...	0.176879075125...
2	0106	Assen	10866790.00000...	1788831.000000...	0.164614481369...
3	0153	Groningen	9343504.000000...	1840522.000000...	0.196984129294...
4	0392	Haarlem	4055442.000000...	748112.0000000...	0.184471137794...
5	0014	Leeuwarden	29054320.99999...	4640057.000000...	0.159702820107...
6	0995	Lelystad	13866687.00000...	2108050.000000...	0.152022613620...
7	0935	Maastricht	7464598.000000...	1513834.000000...	0.202801811966...
8	0687	Middelburg	6866783.000000...	1128664.000000...	0.164365759046...
9	0518	's-Gravenhage	11005721.00000...	2547523.000000...	0.231472613198...
10	0796	's-Hertogenbosch	14891672.00000...	2334426.000000...	0.156760503454...
11	0344	Utrecht	13040148.00000...	2558469.000000...	0.196199383626...
12	0193	Zwolle	15399663.00000...	2530395.000000...	0.164314959359...

Gebouwen die risico lopen

De eerste 3 kolommen zijn met elkaar vermenigvuldigd om tot de vierde kolom te komen. Via de demografische kerncijfers per gemeente is de woningdichtheid bepaald.

Steden	**Overstromings-dekking (%)**	**Oppervlakte Stad (km2)**	**Woningdichtheid (woningen/km2)**	**Gebouwen met risico (aantal gebouwen)**
Den Haag	23.2	82.66	3054	58567
Utrecht	19.6	95.76	1552	29129
Haarlem	18.5	29.23	2467	13340
Arnhem	17.7	98.25	726	12625
Den Bosch	15.7	84.63	772	10258
Zwolle	16.4	112.11	488	9137
Lelystad	15.2	243.13	141	5211
Maastricht	20.3	56.8	1078	12430
Middelburg	16.4	48.64	478	3813
Assen	16.5	82.09	373	5052
Groningen	19.7	83.75	1251	20640
Leeuwarden	16.0	167	435	11623

Verhard oppervlak

	Onderwerpen	Totale oppervlakte	Verkeersterrein	Bebouwd terrein	Semi-bebouwd terrein
			Totaal verkeersterrein	Totaal bebouwd terrein	Totaal semi-bebouwd terrein
Regio's	Perioden	*ha*			
Arnhem	2012	10 154	607	2 705	254
Assen	2012	8 345	341	1 814	214
's-Gravenhage (gemeente)	2012	9 814	620	4 754	281
Groningen (gemeente)	2012	8 375	521	3 096	573
Haarlem	2012	3 209	213	1 717	56
's-Hertogenbosch	2012	9 179	591	2 760	437
Leeuwarden	2012	8 395	483	1 967	291
Lelystad	2012	76 545	806	2 116	590
Maastricht	2012	6 013	302	2 255	450
Middelburg (Z.)	2012	5 304	302	1 031	207
Utrecht (gemeente)	2012	9 921	981	4 129	603
Zwolle	2012	11 936	635	2 346	389

© Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen 30-5-2018

Inkomen per huishouden

Via de demografische kerncijfers per gemeente is het inkomen per huishouden bepaald.

Economische impact

Het nationaal BBP van Nederland is 660.13 miljard.

De economische impact is via de volgende vergelijking berekend:

$$Economische\ impact\ [\%] = \frac{BBP\ per\ inwoner\ per\ stad * inwoneraantal}{Nationaal\ BBP}$$

Geschiedenis extreme neerslag

Via (Oozo.nl. 2018) gekeken naar het aantal meldingen van wateroverlast per stad.

ICT-infrastructuur

De kolom ICT-infrastructuur is bepaald door (Kilometer hoofdwegen/Oppervlakte stad).

Steden	**Aantal kilometer hoofdwegen**	**Oppervlakte Stad (km2)**	**ICT-infrastructuur (1/km2)**
Den Haag	44	82.66	0.53
Utrecht	118	95.76	1.23
Haarlem	3	29.23	0.1
Arnhem	43	98.25	0.44
Den Bosch	61	84.63	0.72
Zwolle	32	112.11	0.29
Lelystad	39	243.13	0.16
Maastricht	22	56.8	0.39
Middelburg	21	48.64	0.43
Assen	32	82.09	0.39
Groningen	35	83.75	0.45
Leeuwarden	43	167	0.26

Kwetsbare verstedelijking

Gekeken naar de bevolkingsgroei via de cijfers van het CBS.

A.3.1 Resultaat van de berekening van de parameters

Steden	**Overstromings-dekking (%)**	**Gebouwen met risico (aantal gebouwen)**	**Kans op Extreme Bui (%)**	**Verhard Oppervlak (%)**	**Bevolkings-dichtheid (inw/km2)**
Den Haag	23.2	58567	8	57.6	6429
Utrecht	19.6	29129	0	57.6	3651
Haarlem	18.5	13340	0	61.9	5453
Arnhem	17.7	12625	0	35.1	1593
Den Bosch	15.7	10258	0	41.3	1800
Zwolle	16.4	9137	0	28.2	1129
Lelystad	15.2	5211	0	4.6	333
Maastricht	20.3	12430	0	50	2156
Middelburg	16.4	3813	0	29	991
Assen	16.5	5052	8	28.4	825
Groningen	19.7	20640	-7	50	2572
Leeuwarden	16.0	11623	0	32.7	716

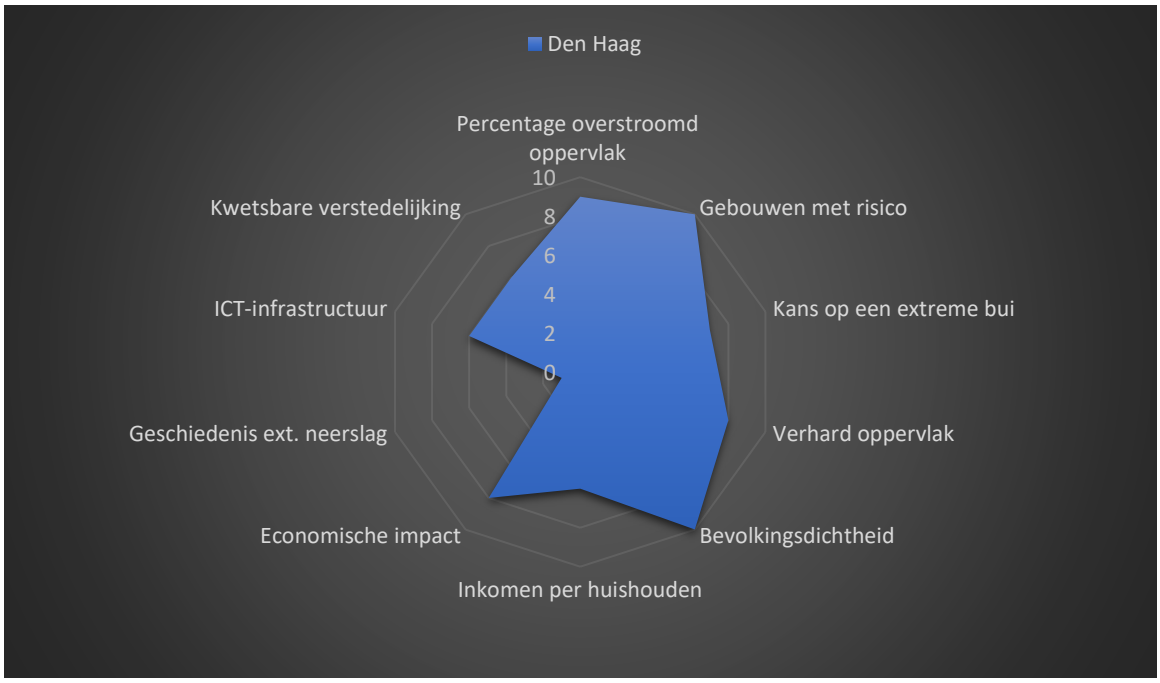
Steden	**Inkomen per huishouden (euro)**	**Economische impact (%)**	**Geschiedenis extreme neerslag (aantal)**	**ICT-infrastructuur (1/km2)**	**Kwetsbare verstedelijking (%)**
Den Haag	31800	3.4	1980	0.53	13.0
Utrecht	34300	2.5	280	1.23	21.4
Haarlem	34300	0.7	295	0.1	15.8
Arnhem	30500	0.8	416	0.44	9.9
Den Bosch	32100	0.8	32	0.72	9.7
Zwolle	33600	0.6	55	0.29	10.3
Lelystad	32500	0.4	31	0.16	2.8
Maastricht	30400	0.7	37	0.39	5.3
Middelburg	33000	0.3	18	0.43	3.5
Assen	32200	0.3	19	0.39	6.1
Groningen	28500	0.7	68	0.45	7.9
Leeuwarden	28700	0.5	36	0.26	8.9

A.3.2 Scores behorende bij de berekende resultaten

Steden	**Overstromings-dekking (Score)**	**Gebouwen met risico (Score)**	**Kans op Extreme Bui (Score)**	**Verhard Oppervlak (Score)**	**Bevolkings-dichtheid (Score)**
Den Haag	9 71	10	7	8	10
Utrecht	6 58	9	4	8	6
Haarlem	5 63	8	4	9	9
Arnhem	4 50	8	4	5	3
Den Bosch	2 50	7	4	6	4
Zwolle	3 49	7	4	4	3
Lelystad	2 42	5	4	1	1
Maastricht	6 58	8	4	7	4
Middelburg	3 43	4	4	5	2
Assen	3 48	5	7	4	2
Groningen	6 56	8	1	7	5
Leeuwarden	3 52	7	4	5	2

Steden	**Inkomen per huishouden (Score)**	**Economische impact (Score)**	**Geschiedenis extreme neerslag (Score)**	**ICT-infrastructuur (Score)**	**Kwetsbare verstedelijking (Score)**
Den Haag	6	8	1	6	6
Utrecht	5	7	4	2	7
Haarlem	5	4	4	9	6
Arnhem	7	5	3	6	5
Den Bosch	6	5	7	4	5
Zwolle	5	4	6	8	5
Lelystad	6	3	7	9	4
Maastricht	7	4	7	7	4
Middelburg	5	2	8	6	4
Assen	6	2	8	7	4
Groningen	8	4	6	6	5
Leeuwarden	8	3	7	8	5

Bijlage B: Neerslag index hoofdsteden Nederland



Arnhem
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Den Bosch
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Zwolle
Percentage overstroomd oppervlak
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking
10
8
6
4
2
0

Lelystad
Percentage overstroomd oppervlak
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking
10
8
6
4
2
0

Maastricht
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Middelburg
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Assen
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Leeuwarden
Percentage overstroomd oppervlak
10
8
6
4
2
0
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking

Utrecht
Percentage overstroomd oppervlak
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking
10
8
6
4
2
0

Groningen
Percentage overstroomd oppervlak
Gebouwen met risico
Kans op een extreme bui
Verhard oppervlak
Bevolkingsdichtheid
Inkomen per huishouden
Economische impact
Geschiedenis ext. neerslag
ICT-infrastructuur
Kwetsbare verstedelijking
10
8
6
4
2
0

Bijlage C: Besprekingsverslagen

C.1 Startnotitie

Hierbij al mijn opmerkingen, zie de comments. De lijn is denk ik denk goed waar we op zitten. De wetenschappelijke inbedding moeten we nog wel aanpakken, hieronder mijn drie hoofdpunten die we straks kunnen bespreken

- Aandacht voor inbedding in de literatuur
- Uitwerken van het 'rekenmodel', hierbij zijn de vragen
    - Wat zijn de componenten
    - Welke modellen ga je gebruiken om deze te bepalen (en waarom)
    - Hoe kom je aan de informatie
- Ik stel voor dat we ons beperken tot de hoofdsteden, en hierna ons richten op verbetering en reflectie op de methode en een gevoeligheidsanalyse van 1) wat is belangrijk in 2050 en 2) hoe verhoudt het zich tot overstromingen.

Ik heb zojuist ook even naar je plan gekeken. Het ziet er goed uit. Leuk onderzoek heb je samen met bas gedefinieerd.

Hierbij mijn opmerkingen aanvullend op de comments van Bas.

- Maak goed duidelijk dat het om risico wateroverlast door extreme neerslag gaat. Zorg voor goede terminologie. Overstromingen treden meer op als gevolg van falen van keringen langs de kust en de rivieren.
- Goed om een goede focus te leggen op risico wateroverlast. Ik zou werkzaamheden m.b.t. de overstromingsrisico's beperken tot een gevoeligheidsanalyse, of achterwege laten indien je er de tijd niet voor hebt. Wellicht voor 1 a 2 steden het wateroverlast risico door extreme neerslag in perspectief met overstromingsrisico plaatsen. Je hebt maar 9 weken.
- Maak goed duidelijk waar welke 'ingrediënten' vandaan komen: brongegevens neerslag events en bijbehorende inundatiediepte, brongegevens schadebepaling (landgebruik en schadefuncties). Dat vind ik nu nog moeilijk te doorgronden.
- Vaak heb je het over overstromingen en bedoel je extreme neerslag
- Waar staat PDOK voor?
- In je samenvatting van de stappen mis ik er een paar, bijvoorbeeld: verzamelen broninformatie inundatiekaarten van bepaalde neerslag events, bepaling gevolgen extreme neerslag, bepaling risico's: welke bronnen en instrumenten gebruik je?
- Aanpassingscapaciteit: of bedoel je opgave waarop geanticipeerd & aangepast moet worden? Bij aanpassingscapaciteit denk ik veel meer aan iets dat steden concreet doen om verhoogde risico door extreme neerslag op te vangen.

C.2 Tussenrapport

Saskia van Vuren heeft mijn tussenrapport beoordeeld. Daaruit volgde dat het rapport goed leesbaar was en er goede informatie gebruikt is. De opmerkingen die hier en daar gemaakt waren zijn bestudeerd en zodanig aangepast voor het eindrapport.

C.3 Eindrapport

Uit het gesprek met Saskia van Vuren volgde dat ik goed werk heb geleverd. Daarbij waren er wel nog wat opmerkingen:

- Positionering van literatuur van Jasper Verschuur
- De twee componenten van de city index in samenhang beschouwen
- Schrijfstijl in tegenwoordige tijd
- Literatuurverwijzingen als de schrijver iets zegt
- Enkele schrijffouten vooral bij voltooid deelwoorden
- Directer schrijven

Bijlage D: Feedback mede student

Beste Tjerk,

Het verslag zit goed in elkaar en heeft een duidelijke opbouw. Je maakt veel gebruik van vakliteratuur met goede literatuurverwijzingen. De maatschappelijke relevantie van het onderzoek komt ook goed naar voren in de inleiding.

Misschien zou je onderzoeksvraag nog iets scherper kunnen. De hoofdvraag is voor mij niet helemaal duidelijk terug te vinden. Je zou misschien ongeveer zoiets kunnen doen: Welke van de onderzochte steden in Nederland zijn het meest kwetsbaar voor de gevolgen van extreme neerslag? En komen de methodologie, en relaties tussen risico's en infrastructuur bijvoorbeeld terug in deelvragen.

Ik denk dat de toepasbaarheid van de methode voor steden in het buitenland een beetje buiten je scope valt. Dit is misschien wel weer een onderzoek op zich.

Het rapport leest verder plezierig en er staat al veel op papier.

Je zou misschien ook nog een iets bredere achtergrond kunnen geven over de city index, waar het al eerder (succesvol) is toegepast (in andere vakgebieden).

Bijlage E: Startnotitie

E.1 Voorwoord

In dit project plan staat welk onderwerp we zullen onderzoeken, waarom we dit onderzoeken en hoe we voor een concrete oplossing kunnen zorgen voor het gevonden probleem. We zullen grenzen opstellen voor het project zodat we niet de weg kwijt raken in het proces en zo een overzichtelijk eindproduct kunnen brengen.

E.2 Inleiding

Op dit moment worden overstromingsrisico's vaak gezien als een dringend probleem op de lange termijn in plaats van de korte termijn. Om ervoor te zorgen dat deze risico's niet steeds op worden geschoven in de agenda's. En om gemeentelijk bestuur van steden in Nederland te ondersteunen met het nemen van waterkundige beslissingen. Is het van belang om een goed inzicht te hebben in de risico's van extreme neerslag en overstromingen in een onzeker weerkundig tijdperk. Hierbij zal worden ingezoomd op Nederland en worden gekeken naar een aantal steden. Om goed inzicht te krijgen in deze risico's zal er een city-index worden opgesteld waarbij het duidelijk wordt welke steden grote gevolgen zullen ondervinden en wat de oorzaken hiervoor zijn. De door Jasper Verschuur uitgewerkte methode voor wereldwijde rivieroverstromingen zal worden toegepast op Nederland bij extreme neerslag.

E.3 Opdrachtgever

Bas Kolen, directeur Onderzoek & Ontwikkeling HKV.
HKV heeft als missie om te zorgen voor een veilig en duurzaam milieu dit wordt nageleefd door middel van onderzoek van hoge kwaliteit, advies en producten die bijdragen aan een betere waterveiligheid. Het bedrijf beschikt over specifieke kennis van wiskunde en natuurkunde. Daarbij wordt nieuwe kennis ontwikkeld en toegepast op de klanten en universiteiten.

E.4 Probleemstelling

Het is van belang dat er een actuele en toekomstige city-index komt die inzicht geeft in de risico's van nu, maar ook de risico's in de toekomst als gevolg van klimaatverandering. Deze city-index bevat de steden in Nederland en wordt gerangschikt op kwetsbaarheid ten opzichte van extreme Neerslag en overstromingen.

E.5 Doelstelling & op te leveren product

Doel van dit project is om relatie te leggen tussen risico's (als functie van kans x gevolg) en de infrastructuur van de stad. Deze relatie kan worden gelegd door conclusies te verbinden aan de city-index. In de city-index krijgen de steden een ranking en worden ze vergeleken op basis van de kwetsbaarheid door extreme neerslag en overstromingen. Hieruit wordt een conclusie gemaakt ten opzichte van de stedelijke aanpassingsmogelijkheden. De index biedt de belanghebbenden een duidelijk overzicht met betrekking tot stedelijke aanpassingsstrategieën.

Deze city-index (eindproduct) wordt opgesteld voor de hoofdsteden in Nederland (Groningen, Leeuwarden, Assen, Zwolle, Lelystad, Arnhem, Utrecht, Haarlem, Den Haag, Middelburg, Den Bosch en Maastricht) gebaseerd op de gevolgen van extreme neerslag. Daarbij is er de ruimte om deze city-index aan te vullen met overige steden in Nederland indien hier tijd voor is.

Daarnaast is er de mogelijkheid indien er genoeg tijd beschikbaar is om het eindproduct uit te breiden door middel van het maken van een city-index op basis van overstromingen.

E.6 Randvoorwaarden

- Materialen: Desktop & Laptop
- Middelen: QGIS, SSM-2017, Waterschadeschatter, Waterviewer
- Expertise: Bas Kolen & Saskia van Vuren
- We zullen alleen kijken naar Nederland.
- De door Jasper Verschuur uitgewerkte methode voor wereldwijde rivieroverstromingen zal worden toegepast op Nederland bij extreme neerslag.
- Het project zal niet meer dan 9 weken in beslag nemen.
- De hoofdlijn van het verhaal zal ongeveer 20-25 pagina's omvatten.

E.7 Aanpak

Om tot de city-index te komen wordt gebruik gemaakt van 3 specifieke componenten, de overstromingsrisico schatting, overstroming index en de aanpassing capaciteit van de steden.

Het component overstromingsrisico schatting wordt bepaald door gebruik van de WaterSchadeSchatter en de SSM-2017 waarbij de economische en slachtoffer risico's worden berekend. Het overstromingsrisico is uitgedrukt in jaarlijks verwachte schade (euro per jaar) en in het aantal slachtoffers. Deze jaarlijkse verwachte schade wordt berekend door de kans met de bijbehorende schade te vermenigvuldigen. Simpel gezegd zullen de kaarten met grondgebruik en inundatiediepte samen in de schade kaart resulteren.
Deze 2 risico's worden bij elkaar gevoegd om tot een totaal risico te komen. Deze totale risico per stad wordt berekend voor het actuele jaar, maar ook voor het jaar 2050 om de verandering in risico per stad te kunnen onderzoeken.
Er wordt gebruik gemaakt van de HKV waterviewer. Dit maakt gebruik van waterdieptes met respectievelijk 10%, 1% en 0.1% kans van voorkomen per jaar waarbij gebruik wordt gemaakt van de huidige (STOWA 2018) gegevens. Om een goede schatting te kunnen geven met betrekking tot klimaatverandering kan voor het jaar 2050 de risico opnieuw worden berekend door de kans van voorkomen aan te passen.

Het component overstroming index wordt weergegeven in een spinnenwebdiagram, deze index wordt bepaald aan de hand van parameters die gerelateerd zijn aan extreme neerslag. Deze parameters worden verdeeld in categorieën. Omdat in eerste instantie wordt gekeken naar parameters met betrekking tot extreme neerslag zal gebruik worden gemaakt van de volgende categorieën met bijbehorende parameters:

- **preventief:** de parameters kans op voorkomen extreme bui, overstromingsdekking, eigenschappen met risico, mogelijke slachtoffers.
- **economisch:** de parameters bevolkingsdichtheid, BNP per inwoner en economische impact.
- **noodgeval:** de parameters geschiedenis extreme neerslag, kwetsbare bevolking, evacuatiecapaciteit, ICT infrastructuur en opvangcapaciteit.
- **landgebruik:** de parameter kwetsbare verstedelijking.

De bepaling van deze parameters wordt gedaan via open data software en naar kwetsbaarheid geschaald op een schaal van 1 tot 10 waarbij een hoger getal betekent dat de stad kwetsbaarder is op het gebied van die parameter.

De laatste component aanpassing capaciteit van de steden wordt bepaald door een relatie te leggen tussen de stedelijke ontwikkeling en de verandering van overstromingsrisico van nu tot het jaar 2050

Wanneer de city index tot een goed einde is gebracht en er nog tijd over is kan er ook gekeken worden naar andere steden in Nederland. Voor de bepaling van deze steden wordt gebruik gemaakt van PDOK.

Naast het opstellen van een city-index op basis van extreme neerslag kan deze index ook worden opgesteld door middel van parameters die te maken hebben met overstromingen.

E.8 Eventuele beperkingen/begrenzingen

Bij het gebruik van open data kan het zo zijn dat niet het hele bestudeerde gebied data bevat. Dit zal bijvoorbeeld het geval kunnen zijn bij het component overstroming index waarbij voor het bepalen van bepaalde parameters niet voor het gehele gebied data beschikbaar zou kunnen zijn.

Het component overstromingsrisico schatting zal gebruikt worden als belangrijkste indicator voor de ranking van de steden.

E.9 Planning

Fase	Resultaten	Startdatum	Eind datum
1. Initiatie / Definitie	Startnotitie	27-04-2018	07-05-2018
3. Conceptvorming	Tussenrapport	08-05-2018	16-05-2018
4. Uitwerking	Eindrapport	16-05-2018	14-06-2018
6. Presentatie		25/26-06-2018	-
7. Eventuele toevoeging		02-07-2018	-

E.10 Kwaliteit

Om te kijken of de juiste progressie wordt behaald zal ik één keer per week met de mentor praten over waar het project staat en de resultaten evalueren. Daarnaast zal ik de planning aanhouden zoals deze in de startnotitie wordt verwoord.

Er is een toets gemaakt over informatievaardigheden die informatie heeft geboden over hoe je goed literatuuronderzoek kan doen. Daarbij zal voor dit project gebruik worden gemaakt van Endnote om de literatuurlijst juist weer te geven en Web of Science voor de wetenschappelijke bronnen.