

Klimaatschadeschatter

Rapportage 2020

7 december 2020



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

TNO



Hogeschool
van Amsterdam

Deltares
Enabling Delta Life



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Tauw

SWECO



ARCADIS Design & Consultancy
for natural and
built assets



Aveco de Bondt
ingenieursbedrijf



HKV
LIJN IN WATER



**Stichting
CAS**

Inhoudsopgave

1.	Inleiding rapport Klimaatschadeschatter	1
1.1	Klimaatadaptatie	1
1.2	Wat doet de Klimaatschadeschatter?	1
1.3	Wie heeft de tool ontwikkeld?	1
1.4	Gebruikersbijeenkomsten	1
2.	De tool en het stappenplan	2
2.1	Klimaatschadeschatter	2
2.2	Stappenplan.....	2
3.	Algemene Methode.....	3
3.1	Klimaatschade	3
3.2	Demografische ontwikkelingen en toekomstig landgebruik.....	3
3.3	Keuze voor schadeposten.....	3
4.	Overzicht schades Nederland.....	4
5.	Hitte.....	5
5.1	Sterfte.....	5
5.2	Ziekenhuisopnamen	7
5.3	Vermindering aan arbeidsproductiviteit	8
5.4	Eikenprocessierups.....	9
5.5	Doktersbezoeken door hitte.....	11
6.	Droogte.....	13
6.1	Schade aan funderingen door droogte	13
6.2	Schade aan wegen en riolering door droogte	24
6.3	Schade aan gemeentelijk groen	28
6.4	Schade door natuurbranden	32
6.5	Droogteschade in de landbouw	36
7.	Wateroverlast.....	41
7.1	Directe schade aan panden	42
7.2	Kwantificering indirecte schade panden	44
7.3	Files.....	45
7.4	Hagelschade (verzekerde hagelschade)	48
7.5	Schade aan auto's door wateroverlast.....	50
7.6	Infecties door water op straat.....	52
7.7	Schade aan elektriciteitskastjes	54
8	Inzicht in beperking van gevolgen overstroming door maatregelen	57
	Referenties	62

1. Inleiding rapport Klimaatschadeschatter

De warme en droge zomers van 2018 en 2019 braken allerlei records, en we zullen er nog veel vaker mee te maken krijgen. Ook korte hevige regen- en hagelbuien komen steeds vaker voor. De effecten van klimaatverandering hebben verschillende gevolgen. Zo moeten er meer mensen naar het ziekenhuis in hete zomers, kan er vaker water het gebouw in stromen en verzakken wegen en panden door droogte. De Klimaatschadeschatter (KSS) helpt om inzicht te krijgen in de schade door klimaatverandering met de focus op de stedelijke omgeving. De KSS is openbaar beschikbaar via de URL www.klimaatschadeschatter.nl.

1.1 Klimaatadaptatie

Klimaatadaptatie is het proces waarbij de samenleving zich aanpast aan klimaatverandering en de effecten ervan. Dit proces krijgt de laatste jaren steeds meer aandacht. Als we nu investeren in slimme oplossingen, kunnen we de schade door klimaatverandering beperken. Als we niets doen, wentelen we de schadekosten af op toekomstige generaties.

1.2 Wat doet de Klimaatschadeschatter?

De Klimaatschadeschatter bundelt de kennis over de kosten van klimaatverandering en geeft per gemeente en provincie een schatting van de schade voor hitte, droogte en wateroverlast. De tool maakt een schatting van de kosten voor de periode 2018-2050, als niemand ingrijpt. Zo maakt de Klimaatschadeschatter mensen bewust van de gevolgen van klimaatverandering. Gemeenten, waterschappen en provincies kunnen de tool gebruiken voor risicodialogen en de omgevingsvisie.

1.3 Wie heeft de tool ontwikkeld?

De Klimaatschadeschatter is ontwikkeld binnen het onderzoeksprogramma NKWK Klimaatbestendige stad. Deltares, Wageningen Environmental Research, TNO, RIVM, Hogeschool van Amsterdam, Tauw, Arcadis, Sweco, KCAF, Aveco de Bondt, HKV en stichting CAS werkten hieraan mee.

1.4 Gebruikersbijeenkomsten

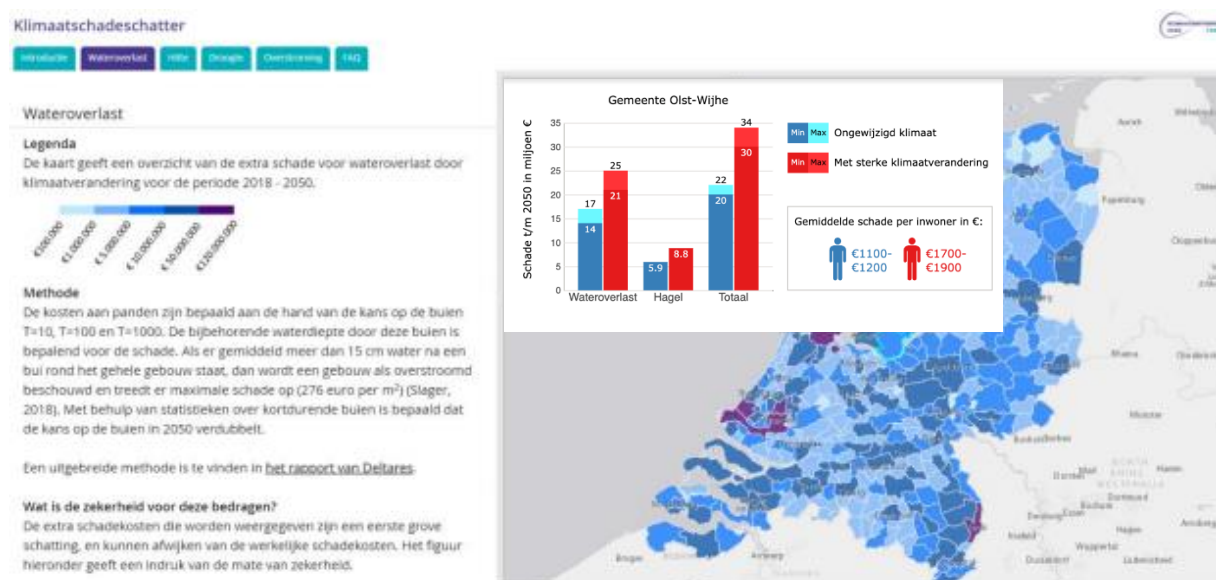
Tijdens de ontwikkeling van de Klimaatschadeschatter is tweemaal een gebruikersbijeenkomst georganiseerd. Hierbij waren telkens de (geooorde) gebruikers aanwezig; gemeenten, waterschappen, provincies, verzekeraars, ingenieursbureaus. De eerste gebruikersbijeenkomst was op 19 december 2018, waarbij gebruikers de allereerste kaarten gepresenteerd kregen. Op 16 september 2019 is de Klimaatschadeschatter weer met een brede gebruikersgroep besproken. Commentaren over inhoud, zoals gebruikte methodes en visualisatie zijn verwerkt in de huidige versie van de Klimaatschadeschatter.

In 2020 zijn verschillende gebruikers betrokken bij de nieuwe onderwerpen natuurbrand en overstroming. Voor natuurbrand zijn de volgende organisaties betrokken; Instituut Fysieke Veiligheid (IFV), Veiligheids- en gezondheidsregio Gelderland-Midden, Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, Brandweer Midden- en West-Brabant, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Probos, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren en gemeente Epe. Voor overstroming zijn gemeente Rotterdam, gemeente Amsterdam en Waternet betrokken bij de analyse. Zij hebben meegedacht over de berekeningsmethode en visualisatie van de resultaten. Voor droogteschade in de landbouw is gebruik gemaakt van de methode van de Waterwijzer Landbouw. Binnen het kennisprogramma Lumbricus zijn diverse gebruikers getrokken om de methode aan te scherpen.

2. De tool en het stappenplan

2.1 Klimaatschadeschatter

De ontwikkelde Klimaatschadeschatter (www.klimaatschadeschatter.nl) geeft gemeenten, waterschappen en provincies een beeld van de omvang van de schade en de verhoudingen tussen de verschillende schadecomponenten. Het is een op GIS gebaseerde tool die in het startscherm een kaart toont met alle gemeenten van Nederland. Als de gebruiker een gemeente selecteert, genereert de tool voor die gemeente een grafiek met de boven- en ondergrens van de klimaatschade voor vier dreigingen (wateroverlast, droogte, hittestress en gevolgen van overstroming), zie Figuur 1. Alle data is via de pop-up te downloaden in een Excel en PDF bestand. De resultaten van de KSS zullen altijd met voorzichtigheid moeten worden gehanteerd. De schatting bevat grote onzekerheden en er worden aannames gedaan. De getallen in de tool geven nog geen totaalbeeld van de schadekosten door klimaatverandering, eerder een ondergrens. Dit rapport bevat informatie over de gevolgde methode.



Figuur 1: Lay-out van de klimaatschadeschatter, waarbij een pop-up venster verschijnt met schadegetallen

2.2 Stappenplan

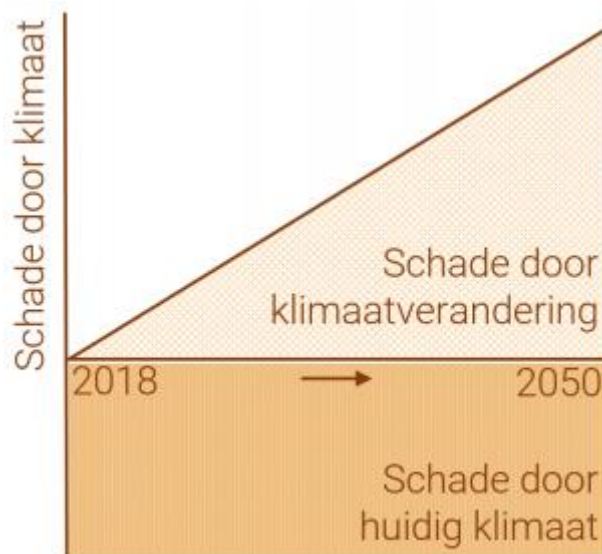
Om berekeningen aan specifieke schade lokaal te kunnen verfijnen is waar mogelijk een stapsgewijze procedure ontwikkeld die de gebruiker handmatig kan doorlopen. Dit rapport toont over dit “stappenplan” en de bijbehorende formules. Een dergelijk stappenplan is niet voor alle schadeposten zinvol of uitvoerbaar.

3. Algemene Methode

3.1 Klimaatschade

De tool maakt voor de periode 2018-2050 de volgende schattingen (Figuur 2):

1. Een schatting van de schadekosten als het huidige klimaat tot 2050 hetzelfde zou blijven. Dit zal waarschijnlijk niet gebeuren, maar we tonen deze situatie om de impact van klimaatverandering beter zichtbaar te maken.
2. Een schatting van de schadekosten als het klimaat sterk verandert: het WH-scenario.



Figuur 2: De schade door klimaat bestaat uit schade door klimaatverandering en de schade door het huidige klimaat

3.2 Demografische ontwikkelingen en toekomstig landgebruik

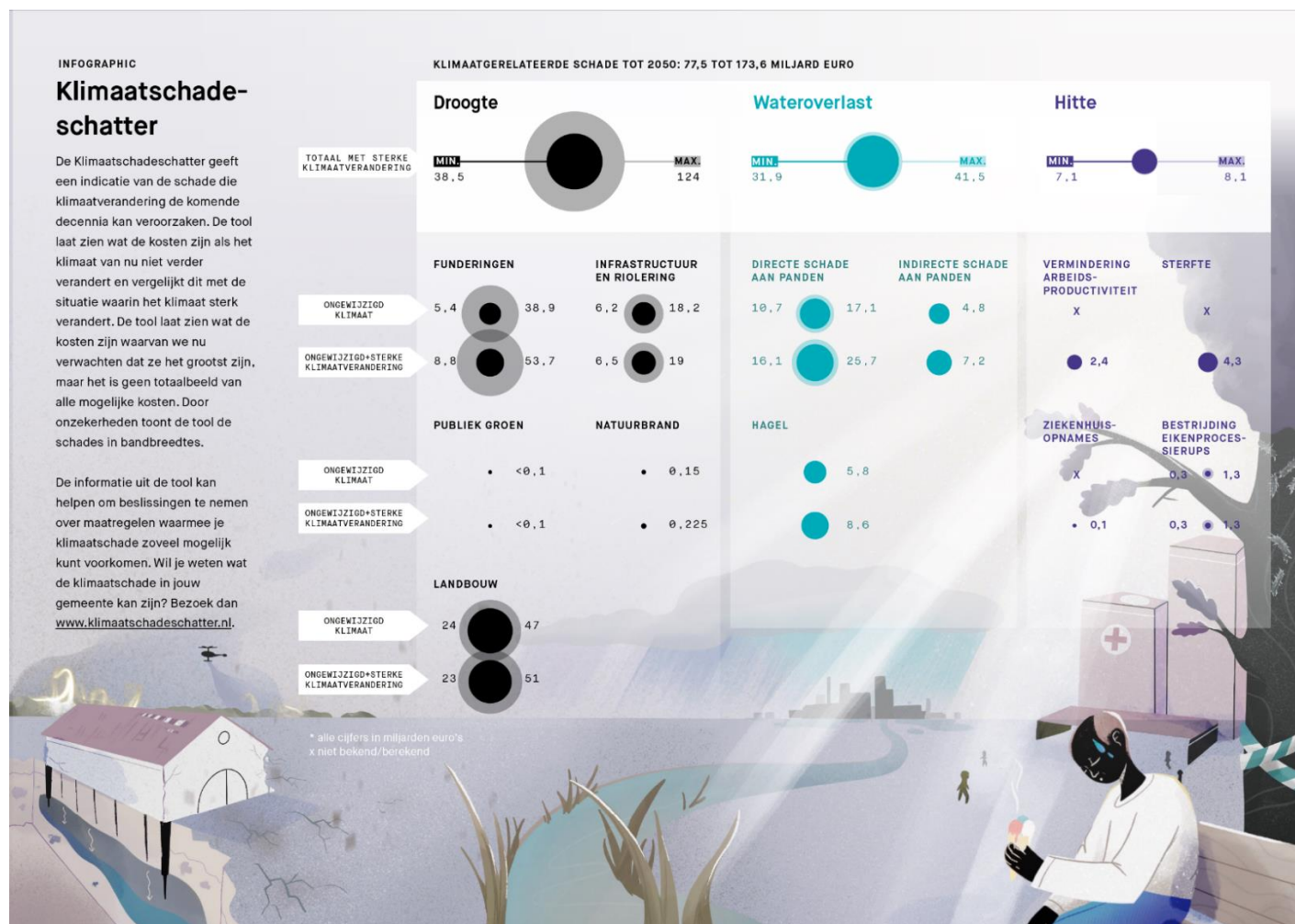
Demografische ontwikkelingen, toekomstige veranderingen in landgebruik en veranderingen in gedrag zijn in de Klimaatschadeschatter niet meegenomen in de berekeningen. Een uitzondering hierop is droogteschade in de landbouw. Hier is rekening gehouden met veranderd landgebruik in de toekomst.

3.3 Keuze voor schadeposten

Voorafgaand aan het ontwikkelen van de Klimaatschadeschatter zijn de op dit moment kwantificeerbare schadeposten vastgesteld. Dit is gedaan aan de hand van de bollenschema's uit de Nationale klimaatadaptatiestrategie (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Dit zijn tientallen potentiële schadeposten, verwerkt in een bollenschema. Er is met alle deelnemende experts een selectie gemaakt welke schadeposten in 2018, 2019 en 2020 landelijk berekend konden worden. Daarbij is een afweging gemaakt aan de hand van relevantie van de schadepost en haalbaarheid voor het verkrijgen van schadebedragen. Voor de relevantie is afgewogen of de schadecomponenten zich afspelen binnen stedelijk gebied en/of het in verhouding een grote impact heeft. In 2020 zijn hierdoor ook schades opgenomen buiten het stedelijk gebied, zoals droogteschade in de landbouw en natuurbrand, omdat zij naar verwachting een grote impact hadden. Voor de haalbaarheid is afgewogen of het landelijk opschalen met huidige data of na kortlopend onderzoek mogelijk is.

4. Overzicht schades Nederland

In de Klimaatschadeschatter zijn op dit moment 12 schadecomponenten kwantitatief uitgewerkt. De onderstaande infographic biedt een overzicht van deze schadecomponenten en geeft geschatte schades weer voor de periode 2018-2050. De kosten zijn waar mogelijk uitgesplitst in de schades die we kunnen verwachten zonder klimaatverandering en de schade die kan optreden bij sterke klimaatverandering. Een grote versie van de infographic is te bekijken op www.klimaatschadeschatter.nl.



5. Hitte

Voor het thema hitte worden de kosten voor sterfte, ziekenhuisopnamen, arbeidsproductiviteit en eikenprocessierups berekend. Daarnaast is er een verkenning gedaan naar het aantal doktersbezoeken door hitte.

5.1 Sterfte

Wageningen Environmental Research

Tijdens hittegolven kan het aantal sterfgevallen flink toenemen, zoals de onderzoeken van Huynen e.a. (2001), en Daanen e.a. (2010) laten zien. Ouderen met een leeftijd boven de 65 jaar en chronisch zieken zijn het gevoeligst voor sterfte door hitte, vooral als ze hart-, ademhalings- en nieraandoeningen hebben. Mensen die al ernstig ziek zijn, sterven vaak eerder door hitte. Maar de overgrote meerderheid van de extra sterfgevallen zijn redelijk gezonde mensen die normaal gesproken nog een tijdje door zouden leven, zo blijkt uit de statistieken (zie Daanen e.a., 2010). Voor sterfte door hitte gaat de Klimaatschadeschatter uit van twee klimaatscenario's voor 2050: het GL-scenario en het WH-scenario.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

In het GL-scenario overlijden er volgens de gebruikte methode in heel Nederland rond het jaar 2050 in de maanden juni, juli en augustus gemiddeld 192 mensen per jaar meer als gevolg van hogere temperaturen. In het WH-scenario overlijden er gemiddeld 657 mensen per jaar meer.

Welke methode hebben we gebruikt?

De Klimaatschadeschatter gebruikt de methode die Stone en anderen voorstellen in hun artikel 'Quantifying the sensitivity of our urban systems Impact functions for urban systems' (2013). De auteurs hebben uit landelijke sterftegegevens een relatie afgeleid tussen extra sterfgevallen en gemiddelde dagtemperatuur in de Bilt. Deze relatie lijkt sterk op de relatie die Huynen en anderen (2001) voorstelden. In de stad zijn de temperaturen vooral 's nachts hoger dan buiten de stad. Effecten van dit hitte-eilandeffect zijn impliciet in de relatie verwerkt, omdat de temperatuur in de stad dan hoger is dan de gemeten temperatuur in de Bilt. De statistieken laten niet toe om dit expliciet te doen.

Wat zijn de uiteindelijke formules?

De uiteindelijke formules voor schade door het aantal extra sterfgevallen als gevolg van hitte in een gemeente zijn:

- GL-scenario: $192 * 400.000 * (\text{aantal inwoners gemeente} / \text{aantal inwoners Nederland})$
- WH-scenario: $657 * 400.000 * (\text{aantal inwoners gemeente} / \text{aantal inwoners Nederland})$

Het getal 400.000 staat voor de schade per sterfgeval. We schatten de schade voor iemand die sterft door hitte op € 400.000,-. Dat hebben we zo berekend:

- De waarde van een levensjaar is € 40.000,-. Dat bedrag gebruiken EU-landen vaak in studies naar luchtverontreiniging. Zie bijvoorbeeld de studies van Hurley e.a. (2005) en Desaiques e.a. (2011).
- We nemen aan dat iemand die als gevolg van hitte overlijdt, normaal gesproken gemiddeld nog 10 jaar te leven zou hebben. Daarom schatten we de schade van iemand die sterft door hitte op $10 \times € 40.000 = € 400.000,-$. Deze schatting gaat ervan uit dat de risicogroep bestaat uit mensen ouder dan 65 jaar en dat de mensen in deze groep een ongeveer even grote kans

hebben om te overlijden door hitte. De levensverwachting bij het bereiken van de leeftijd van 65 jaar is normaal gesproken ruim 85 jaar.

Hoe zijn we tot deze formules gekomen?

De formule voor het totaal aantal sterfgevallen inclusief het aantal extra sterfgevallen door hitte in Nederland hebben Stone e.a. zo opgebouwd:

$$S = (373 + (0.81 - 0.0511 * T - 0.00389 * T^2 + 0.00000964 * T^4) * 38.73)$$

S	=	Totaal aantal sterfgevallen per dag
T	=	Gemiddelde dagtemperatuur (°C)
373	=	Gemiddeld aantal sterfgevallen per dag
38.73	=	Standaardafwijking

De gemiddelden zijn berekend over 30 jaar, in de periode 1981-2010. In de formule is het basisgetal voor gemiddelde sterfte 373. Dit wijkt iets af van het door Stone e.a. gebruikte getal 377, om het getal consistent te maken met de waargenomen gemiddelde sterfte in de periode 1981-2010. Op basis van deze resultaten hebben we een uiteindelijke formule opgesteld voor het aantal sterfgevallen per gemeente voor de twee klimaatscenario's.

Stappenplan

Op dit moment is het niet mogelijk een gedetailleerdere inschatting te maken van de schade door sterfte op lokaal niveau. Hierdoor kan er ook geen stappenplan worden gevolgd.

5.2 Ziekenhuisopnames

Wageningen Environmental Research

Uit verschillende onderzoeken komen sterke aanwijzingen naar voren dat extreme hitte meer ziekenhuisopnames tot gevolg heeft. Extreme hitte kan leiden tot verschillende gezondheidsproblemen, zoals: huiduitslag, krampen, oververmoeidheid, beroertes, nierfalen en ademhalingsproblemen. In de Klimaatschadeschatter geven we een schatting van het aantal extra mensen dat opgenomen wordt in het ziekenhuis door hitte. Voor ziekenhuisopnames door hitte gaat de Klimaatschadeschatter uit van twee klimaatscenario's voor 2050: het GL-scenario en het WH-scenario.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Uitgedrukt in euro's is de schade door ziekenhuisopnames voor alle gemeenten relatief laag. Dit komt doordat een ziekenhuisbezoek niet veel kost. Uitgedrukt in het aantal mensen dat is opgenomen, leveren ziekenhuisopnames wel veel schade op.

Welke methode hebben we gebruikt?

We baseren onze methode op een Duitse analyse van Karlsson en Ziebarth (2018). Zij hebben 170 miljoen ziekenhuisopnames en weergegevens van 1044 weerstations geanalyseerd. Deze gegevens komen van ziekenhuizen en weerstations verspreid over heel Duitsland over de periode 1999-2008. Ze zijn op verschillende manieren geanalyseerd, met ook verschillende uitkomsten voor het aantal geschatte extra ziekenhuisopnames. In de Klimaatschadeschatter kiezen we voor een eenvoudige schatting: het aantal extra ziekenhuisopnames door hitte op een tropische dag. Dat is een dag waarvan de maximumtemperatuur hoger is dan 30°C. We gebruiken het dichtstbijzijnde meetstation van het KNMI om te bepalen of deze temperatuur bereikt wordt.

Wat is de formule?

Gebruik de formule alleen voor dagen waarop de maximumtemperatuur 30°C of meer is:

$$Z = 5000 \times 1,079 \times N_p / 100.000$$

Z = kosten in euro's voor een gemeente van extra ziekenhuisopnames bij hitte voor 1 tropische dag, per 100.000 inwoners.

N_p = Het aantal inwoners

- Het getal 1,079 is het aantal ziekenhuisopnames per 100.000 inwoners dat volgens het onderzoek komt door hitte.
- Het getal 5000 staat voor de kosten van 1 ziekenhuisopname in Nederland.

Hoe zijn we tot deze formule gekomen?

Houd bij de formule rekening met het volgende:

- Het getal 1,079 volgt uit een analyse waarin we alleen hebben gekeken naar de invloed van hitte. Invloeden van luchtkwaliteit en andere weersfactoren dan hitte hebben we weggelaten. Als we dat niet hadden gedaan, zouden er 2,908 extra ziekenhuisopnames per 100.000 inwoners zijn.
- We gaan er nu vanuit dat Nederlanders hetzelfde op hitte reageren als Duitsers. Maar misschien gaan Nederlanders wel anders om met hitte. Ook kunnen er verschillen zijn in hoe snel mensen worden opgenomen in het ziekenhuis, hoe het zorgsysteem geregeld is en hoe mensen omgaan met gezondheidsproblemen.
- We schatten de kosten van een ziekenhuisopname op € 5.000,-, net als Stone e.a. (2013). Dit bedrag is iets hoger dan het bedrag in de Duitse studie: € 4.830,- per opname.

Stappenplan

Op dit moment is het niet mogelijk een gedetailleerdere inschatting te maken van de schade door ziekenhuisopnamen op lokaal niveau. Hierdoor kan er ook geen stappenplan worden gevolgd.

5.3 Vermindering aan arbeidsproductiviteit

TNO

Hoge temperaturen kunnen ervoor zorgen dat mensen hun werk minder goed kunnen doen. Mensen werken minder of minder goed: de arbeidsproductiviteit daalt. Sommige sectoren zijn hier gevoeliger voor dan andere. Zo hebben mensen die buiten werken sneller last van hitte dan mensen die in een gekoelde ruimte werken. De Klimaatschadeschatter laat zien hoe sterk de arbeidsproductiviteit daalt in de sectoren die het meest met hitte te maken hebben: landbouw, industrie, bouw, transport en toerisme.

Welke methode hebben we gebruikt?

We gebruiken resultaten uit een [recent Europees onderzoek](#) van onderzoeksprogramma HEAT-SHIELD. Dat onderzoek kijkt naar hoe ver de gevoelstemperatuur tijdens werktijd boven een grenswaarde ligt. Het onderzoek gaat uit van het RCP 8.5 klimaatscenario van het IPCC, dit komt overeen met het Nederlands WH klimaatscenario. Dit scenario leidt tot de grootste opwarming. De resultaten van de studie waren beschikbaar per provincie. We hebben ze omgerekend naar vermindering van arbeidsproductiviteit per gemeente, op basis van het aantal banen per gemeente.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

De provincies in het zuidoosten van Nederland krijgen te maken met de meeste warme dagen. Hierdoor is de vermindering aan arbeidsproductiviteit hier relatief het grootst.

Wat is de formule?

De formule die we voor de Klimaatschadeschatter gebruikt hebben, is:

$VA = m \times \text{verlies volgens gevoeligheidsfunctie, gecorrigeerd voor percentage blootstelling} \times \text{toegevoegde waarde per sector}$

VA = verlies aan arbeidsproductiviteit

m = mate waarin temperatuur tijdens werktijd boven een grenswaarde komt

Wat hebben we niet berekend?

De schade die we schatten door verlies aan arbeidsproductiviteit door hitte, is een ondergrens. Het kan goed zijn dat de uiteindelijke schade hoger is. We weten bijvoorbeeld niet precies hoeveel schade er nu is door verlies aan arbeidsproductiviteit door hitte. We hebben alleen het verschil kunnen berekenen tussen nu en 2050. Verder hebben we alleen het verlies aan lichamelijke arbeid berekend. De volgende verliezen hebben we niet meegerekend:

- Verlies aan cognitieve prestaties
- Verlies door ongevallen voor hitte
- Meer ziekteverzuim

Stappenplan

Op dit moment is het niet mogelijk een gedetailleerdere inschatting te maken van de schade door vermindering van arbeidsproductiviteit op lokaal niveau. Hierdoor kan er ook geen stappenplan worden gevolgd.

5.4 Eikenprocessierups

Wageningen Environmental Research

De eikenprocessierups heeft zich sinds 1990 over bijna heel Nederland verspreid. In 2018 en 2019 is het aantal eikenprocessierupsen enorm toegenomen. Dat komt door een combinatie van factoren: het klimaat warmt op, in Nederland staan veel eikenbomen en het aantal natuurlijke vijanden van deze rups wordt minder. De eikenprocessierups heeft in 2018 en 2019 voor veel extra overlast gezorgd. In de Klimaatschadeschatter schatten wij de bestrijdingskosten van gemeenten. Wat kunnen we aan bestrijdingskosten verwachten in de toekomst?

Waar is de meeste overlast?

In gebieden met veel eiken is de overlast van de eikenprocessierups het grootst: in de provincies Drenthe, Gelderland, Overijssel, Utrecht, Noord-Brabant en Limburg. Direct langs de kust is er minder overlast, en op de Wadden zijn de rupsen nog niet gezien.

Hoe bestrijd je de rups?

We onderscheiden 2 manieren van bestrijden: preventief en curatief. Preventieve bestrijding gebeurt als de rupsen nog larven zijn. Dat gebeurt meestal in april en mei. Dan gebruikt de beheerder een biologisch bestrijdingsmiddel met de bacterie *Bacillus thuringiensis* en zet hij natuurlijke vijanden in de eiken, zoals aaltjes. Voordeel is dat de rups in de eerste drie larvale stadia nog geen microharen heeft ontwikkeld, zodat er bij een geslaagde bestrijding geen microharen vrijkomen (vandaar dat dit preventief bestrijden wordt genoemd). Curatieve bestrijding gebeurt als de larven al rupsen zijn geworden. Dat gebeurt meestal in juni en juli, en soms ook daarna. Beheerders zuigen de rupsen en nesten op, of branden ze uit.

Hoe hebben we deze kosten berekend?

We hebben de kosten voor bestrijding in 2019 berekend op basis van onderzoek van Omroep Brabant en drie dagbladen: De Stem, Eindhovens Dagblad en De Gelderlander. Op basis van dit onderzoek zijn voor 50 gemeenten de totale kosten in 2019 bekend. Aan de hand van deze kosten is een relatie opgesteld tussen aantal inwoners en kosten.

De meeste gemeenten besteden een groot deel van de bestrijding uit aan een gespecialiseerde groenaannemer. Veel gemeenten hebben voor het onderzoek alleen de kosten van de uitbesteding aangeleverd. We schatten alleen de schade voor gemeenten. De kosten voor provincie, Rijkswaterstaat, waterschappen, particulieren, boeren, recreatiebedrijven en bos- en natuurbeheerders zijn onbekend.

Wat is de formule?

In de provincies met hogere zandgronden komt de eikenprocessierups veel meer voor dan in de andere provincies. Om de kosten van de gemeenten te schatten waarvan de kosten niet bekend zijn hebben we 2 formules opgesteld:

- Bij de provincies met hogere zandgronden gaan we uit van de gemiddelde kosten van €2 per inwoner.
- Bij de andere provincies gaan we uit van de gemiddelde kosten van €0,50 per inwoner.

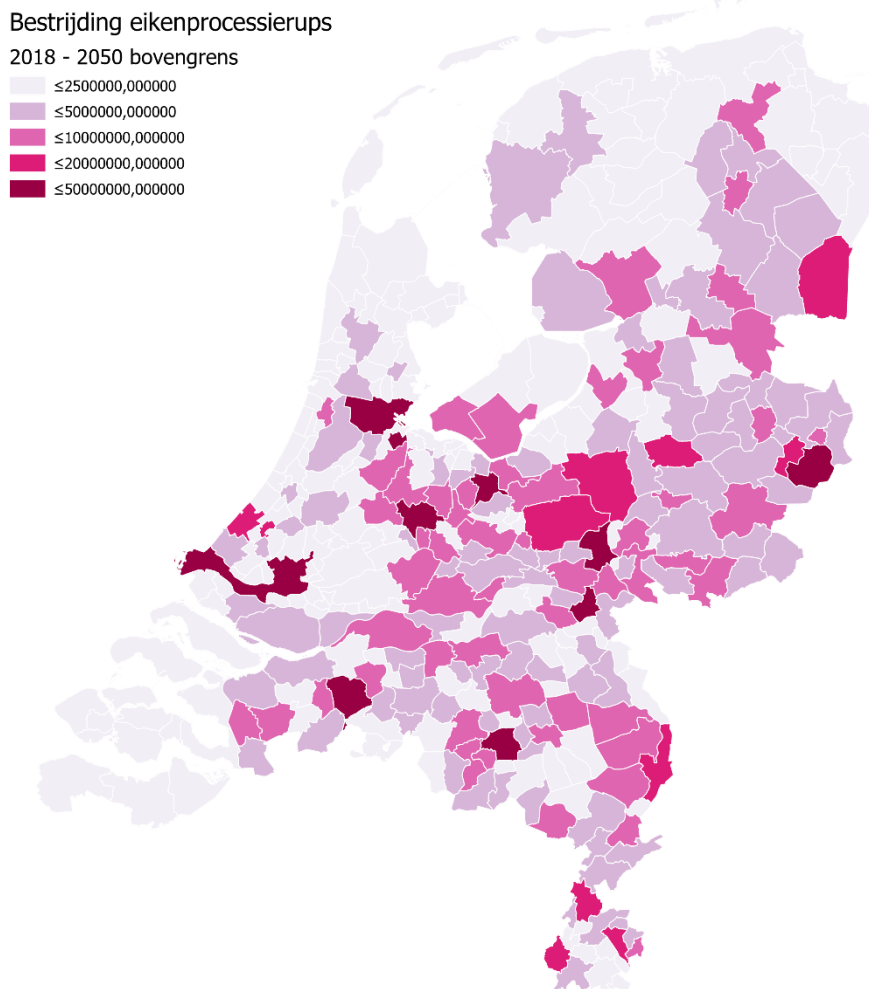
De provincies met hogere zandgronden zijn Drenthe, Overijssel, Gelderland, Utrecht, Noord-Brabant en Limburg. De andere provincies zijn Friesland, Groningen, Flevoland, Noord- en Zuid-Holland en Zeeland.

Deze kosten komen naar verwachting ieder jaar terug. Dus vermenigvuldigen we de kosten van 2019 met 32 om de schade van 2018 tot en met 2050 te bepalen. Door onzekerheid over de overlast van de eikenprocessierups gaan we uit van twee mogelijke scenario's:

1. Het aantal natuurlijke vijanden neemt toe en de rups is efficiënter te bestrijden.
2. Het leefpatroon van de eikenprocessierups verandert. De rups geeft ook op andere tijden in het jaar overlast.

Voor scenario 1 delen we de totale kosten per gemeente door twee. Dit is de ondergrens van onze schatting. Voor scenario 2 vermenigvuldigen we de totale kosten per gemeente met twee.

Wat zijn de resultaten?



Figuur 3: Schade bestrijding eikenprocessierups voor de periode 2018 - 2050

Stappenplan

Stap 1: Hoeveel kosten had de gemeente aan bestrijding in 2019?

Zet op een rij wat de kosten waren van bestrijding binnen de gemeente in 2019. Wil je een totaalplaatje, dan moet je ook de kosten bepalen van de provincie, het waterschap, particulieren, boeren, recreatiebedrijven en bos- en natuurbeheerders binnen de gemeente.

Stap 2: Hoeveel kost dit voor de periode 2018 – 2050?

Vermenigvuldig de kosten met 32, om de periode 2019 – 2050 te bepalen. Als er ook kosten van 2018 bekend zijn kunnen deze erbij opgeteld worden. Zijn deze niet bekend? Dan kun je aannemen dat de kosten in 2018 de helft van 2019 waren.

Doordat de hoeveelheid rupsen in de toekomst niet te voorspellen is, raden we aan met de bovengenoemde twee scenario's te werken. Voor scenario 1 delen we de totale kosten door twee. Dit is de ondergrens van onze schatting. Voor scenario 2 vermenigvuldigen we de totale kosten met twee.

5.5 Doktersbezoeken door hitte

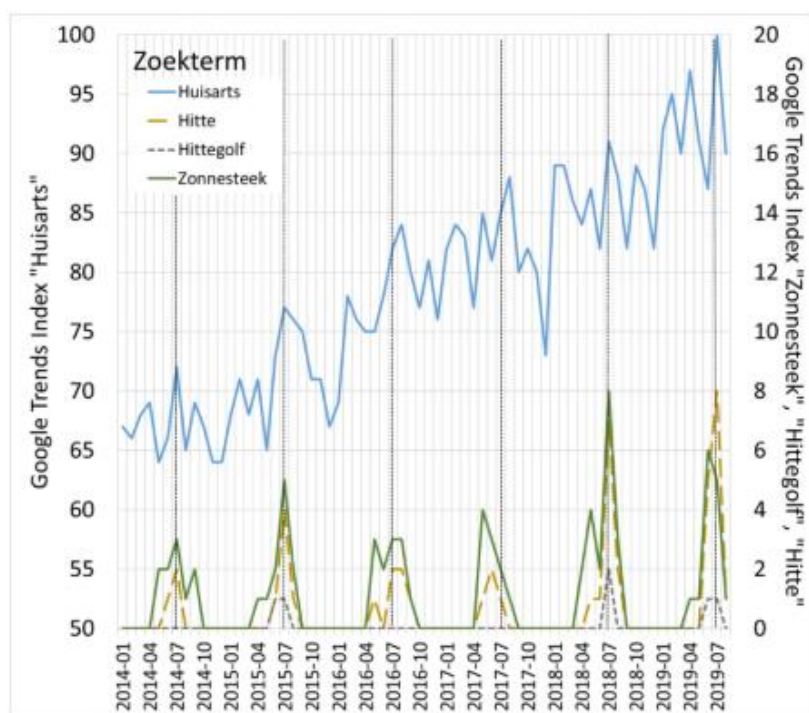
Wageningen Environmental Research

Als het extreem warm is, kunnen bij mensen gezondheidsproblemen ontstaan. In het ergste geval kunnen mensen sterven als gevolg van oververhitting. Uit verschillende onderzoeken komen aanwijzingen naar voren dat door extreme hitte het aantal ziekenhuisopnames toeneemt. Het lijkt erop dat tijdens extreme hitte ook meer mensen naar de dokter gaan. Daarbij gaat het om consultaties van huisartsen tijdens praktijkuren, van huisartsen buiten normale praktijkuren, bezoeken aan spoedartsen en telefonische consulten. Smith e.a. (2016) laten zien dat dit gebeurt in het Verenigd Koninkrijk.

Welk onderzoek is in Nederland gedaan?

In Nederland hebben Nivel, RIVM en IRAS een verkennende studie naar extra huisartsbezoek gedaan. Nivel constateerde, uit een analyse van consulten, bij sommige leeftijdscategorieën een verhoogd relatief risico op hitte gerelateerde symptomen tijdens hittegolven, zoals uitdroging (M. Hooiveld, persoonlijke communicatie, 21 augustus 2019). Vooral 75-plussers komen vaker bij de dokter met uitdrogingsverschijnselen.

Daarnaast heeft WENR een analyse uitgevoerd op basis van Google Trends gegevens. Enkele resultaten staan in figuur 4. Tijdens warmere maanden zoeken mensen vaker op de trefwoorden "Huisarts", "Zonnesteek", "Hitte" en "Hittegolf".



Figuur 4: Google Trend analyse die de Google Trend index "Huisarts" vergelijkt met de indexen "Zonnesteek", "Hittegolf" en "Hitte".

Verder onderzoek nodig

Deze resultaten zijn op te vatten als aanwijzingen dat ook in Nederland het doktersbezoek toeneemt bij hitte. Maar de resultaten zijn niet geschikt om een relatie met temperatuur voldoende te kunnen onderbouwen. Daarvoor is het eerst nodig om gegevens te analyseren die niet vrij beschikbaar zijn.

Stappenplan

Op dit moment kunnen nog geen schattingen gemaakt worden voor de schade door doktersbezoeken.

6. Droogte

Voor het thema droogte worden de schades aan funderingen, wegen en rioleringen, gemeentelijk groen, droogteschade in de landbouw en natuurbrandschade berekend.

6.1 Schade aan funderingen door droogte

Deltares en KCAF

Droogte kan leiden tot schade aan ondiepe ‘op staal’ funderingen en aan houten paalfunderingen. Bij een lage grondwaterstand kunnen de houten funderingspalen droog komen te staan, waardoor er zuurstof bij kan komen en een rottingsproces in gang wordt gezet. Als de palen lang en/ of vaak droog hebben gestaan verliezen de palen hun draagkracht en raakt de fundering beschadigd. Funderingen op staal staan direct op de bodem. Bij droogte kunnen klei – en veengronden sneller dalen (respectievelijk door compressie en oxidatie). Het bovengelegen pand zakt mee, en bij ongelijkmatige zetting kan er schade ontstaan. Op de website van het [Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek](#) (KCAF) vind je meer oorzaken van schade aan funderingen.

Schade door paalrot

Een deel van de Nederlandse huizen is gebouwd op houten palen. In principe is bij het ontwerp rekening gehouden met de grondwaterstand. Maar door peilindexatie met bodemdaling of andere oorzaken van grondwaterstands daling kunnen de palen toch droog komen te staan, en kan er zuurstof bij de paalkop komen. Daardoor kunnen schimmels de palen aantasten, waardoor deze gaan rotten. Zo kunnen funderingen van gebouwen beschadigen en verzakken. De Klimaatschadeschatter geeft per gemeente een schatting van de verwachte schade tot 2050 als er geen klimaatverandering zou zijn. Daarnaast geeft de Klimaatschadeschatter een schatting van de verwachte herstelkosten voor deze schade tot 2050 volgens het WH-klimaatscenario.

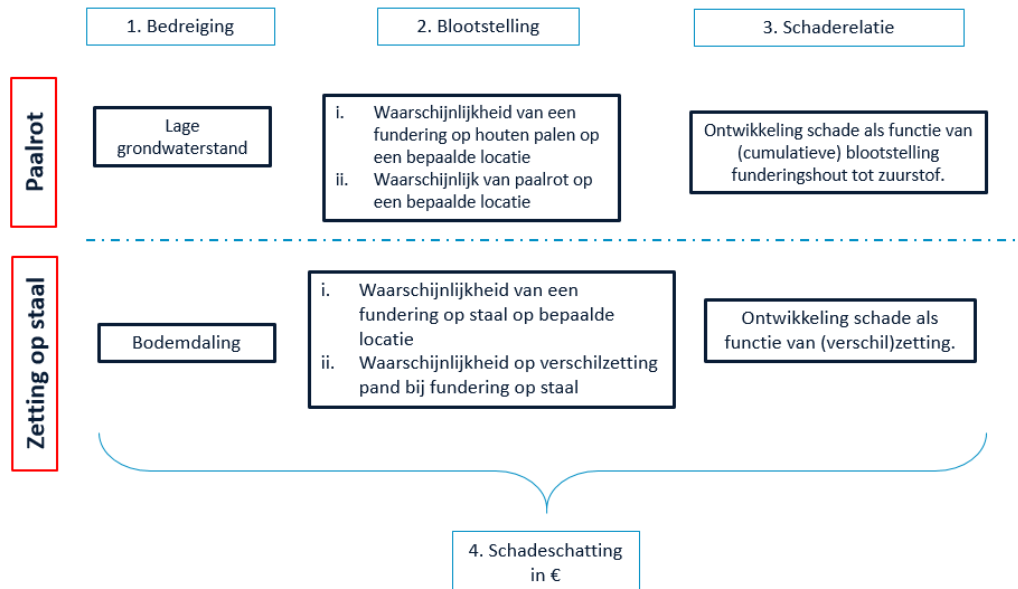
Schade door verschilzetting

Panden die niet op houten palen zijn gebouwd, hebben een fundering die meteen op de bodem rust. Dat heet een fundering op staal. Als de bodem zakt, zakken deze panden mee. Dat hoeft geen probleem te zijn als dat gelijkmatig gebeurt. Maar meestal zakt een pand ongelijk, en daardoor ontstaat er schade. Dit scheefzakken noemen we verschilzetting. Bij droogte kan de bodem sneller zakken. De Klimaatschadeschatter geeft een schatting van de schade tot 2050 als er geen klimaatverandering zou zijn. Daarnaast geeft de Klimaatschadeschatter een schatting van deze schade tot 2050 volgens het WH-klimaatscenario.

Welke methodes hebben we gebruikt?

Eerdere studies hebben op landelijk niveau op hoofdlijnen een analyse gedaan naar de maximale schade aan funderingen die we in Nederland verwachten (Born et al., 2016; Hoogvliet et al., 2012; Leusink, 2018). In de Klimaatschadeschatter hebben we nu een gestructureerde risico-analyse methode ontwikkeld. Figuur 5 geeft hier een overzicht van. Bij het uitwerken van de methode hebben we gebruik gemaakt van bestaande literatuur en zijn twee inhoudelijke sessies met experts gehouden:

1. Sessie over de ‘bedreigingen’ voor funderingen: lage grondwaterstanden en bodemdaling.
2. Sessie over ‘blootstelling en gevoeligheid’: waar kun je welke fundering verwachten en hoe zien de schaderelaties eruit?



Figuur 5: Algemene aanpak risico-analyse voor paalrot en zetting van panden op staal.

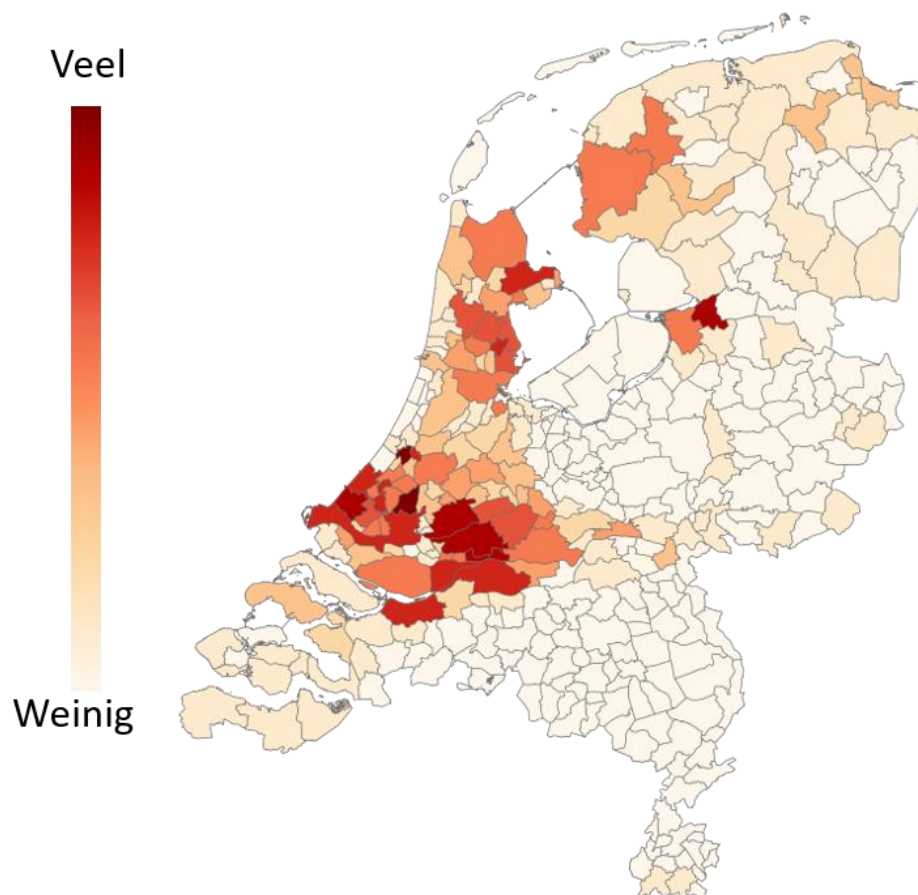
Wat zijn de belangrijkste resultaten?

De resultaten die de Klimaatschadeschatter laat zien, geven per gemeente een bandbreedte weer van de extra schade die we tot 2050 verwachten aan funderingen door paalrot en bodemdaling. De Klimaatschadeschatter laat de verwachte schade zien voor het huidige klimaat en voor het WH-klimaatscenario. De bandbreedte is gebaseerd op:

- Minimale en maximale inschatting van de herstelkosten. Deze kun je vinden in Tabel 3.
- Minimale en maximale aannames over hoe diep de paalkoppen liggen.

De bandbreedte/onzekerheid in de resultaten is groot. Omdat we de resultaten nog niet hebben kunnen valideren, is er in dit stadium voor gekozen nog geen onderscheid te maken tussen schade door paalrot en schade door verschilzakking bij funderingen op staal. We verwachten dat de werkelijke schade binnen de bandbreedte van de opgetelde resultaten valt.

Uit de analyse blijkt dat veel gemeenten zonder verdere klimaatverandering al schade aan funderingen kunnen verwachten door bodemdaling en lage grondwaterstanden. In het WH-klimaatscenario is de verwachte schade groter, doordat de grondwaterstand in veel gebieden nog lager komt te liggen, en bovendien de bodemdaling versneld.



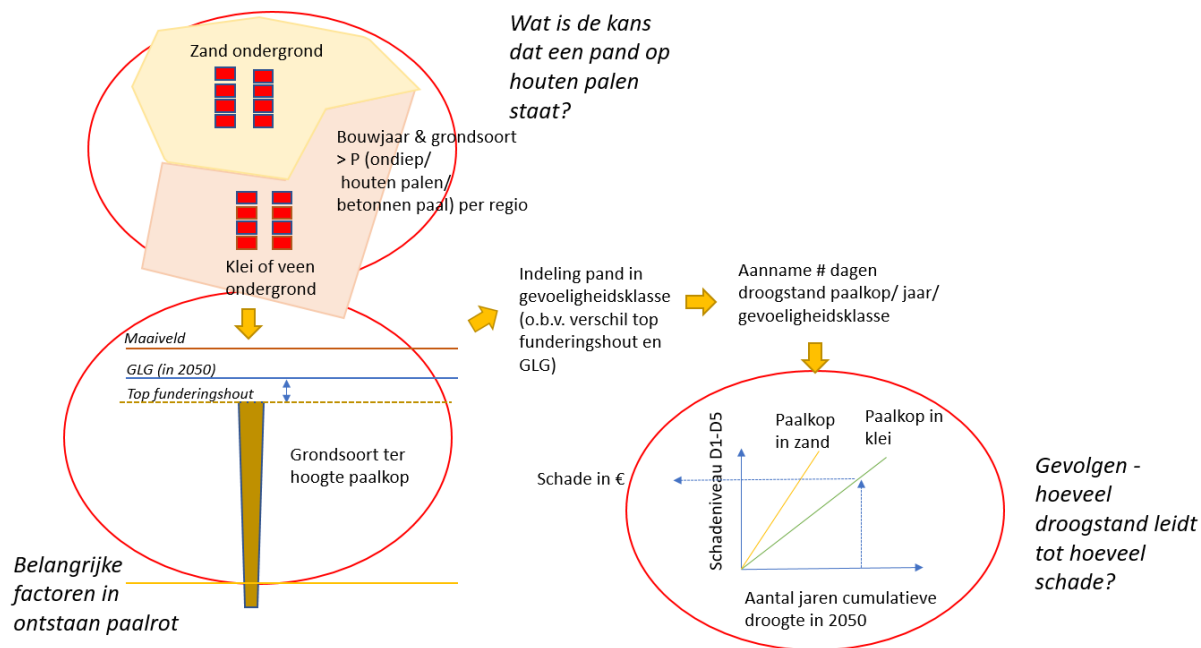
Figuur 6: Extra schade aan funderingen door droogte in het WH-klimaatscenario

I. Methode risico-analyse paalrot

De methode om het risico op paalrot in te schatten bestaat uit drie onderdelen:

- a. Per locatie geven we een inschatting van de kans of een pand op houten palen gefundeerd is.
- b. We schatten in wat de gevoeligheid voor droogstand bij elk pand is: hoeveel dagen per jaar staat de paalfundering op een gegeven locatie droog?
- c. We schatten in welke gevolgen droogstand van palen heeft voor de verwachte schade in 2050.

Figuur 7 geeft een overzicht van deze onderdelen:



Figuur 7: Overzicht aanpak risico-analyse houten paalfunderingen - paalrot

a. Is een pand op houten palen gefundeerd?

Natuurlijk kan paalrot alleen voorkomen bij panden die op houten palen zijn gefundeerd. Van veel panden is niet zeker op welke fundering ze staan, vooral niet van oudere panden. In bepaalde periodes was de fundering in verschillende regio's ongeveer hetzelfde. Met hulp van de gebiedskennis van funderingsexperts hebben we een landelijke indeling gemaakt in regio's met vergelijkbare funderingspraktijken over de tijd. Op basis van leeftijd en ondergrondtype is daarmee per pand een inschatting gemaakt van de kans dat een pand op houten palen of op staal gefundeerd is. Gebieden op zandgrond zijn niet meegenomen in de analyse.

b. Staat een paalfundering droog door lage grondwaterstand?

Of een pand veel kans heeft op paalrot, hangt af van drie factoren:

1. Hoe laag is de grondwaterstand? Daarbij gaan we uit van de huidige GLG-kaart in de Klimaat-effectatlas. Deze toont per gebied de gemiddeld laagste grondwaterstand. De kaart is gemaakt op basis van een landelijk model, waardoor de grondwaterstand lokaal sterk kan afwijken. Idealiter wordt in de vergelijking 'zonder klimaatverandering' een GLG kaart gebruikt voor een laag klimaatscenario, zodat landgebruiksverandering en (peilaanpassing door) bodemdaling in 2050 wel wordt meegenomen – de huidige GLG kaart leidt tot een conservatieve schatting van de schade zonder klimaatverandering. Om de extra schade bij klimaatverandering te schatten, gaan we uit van de GLG-kaart uit de Klimaat-effectatlas voor 2050 volgens het WH-klimaatscenario.
2. Hoe diep liggen de paalkoppen? Hoe hoger deze liggen (dichter bij het maaiveld), hoe groter de kans op droogstand en daarmee paalrot. Het KCAF (Kenniscentrum Aanpak Funderingen) heeft op basis van eigen data een bandbreedte ingeschat voor de diepteligging van de fundering in verschillende gebieden in Nederland.
3. In welke grondsoort staan de houten palen? In een zandlaag rot hout bijvoorbeeld sneller dan in een kleilaag, omdat daarin bij een lage grondwaterstand zuurstof eerder tot de paalkop doordringt. Op basis van GeoTOP hebben we een aanname gedaan over de grondsoort bij de paalkoppen. Deze hebben we onderverdeeld in klei, veen en zand.

Op basis van de GLG-kaart en de diepte van de paalkoppen, hebben we de panden ingedeeld in gevoeligheidsklassen: laag, gemiddeld en hoog. Deze klassen geven aan hoe gevoelig de houten paalfundering van een pand is voor droogstand. Hieronder zie je hoe hoog de laagste grondwaterstand gemiddeld per gevoeligheidsklasse is, en hoeveel dagen per jaar deze palen naar schatting ongeveer droogstaan. Kijk in de tabel bijvoorbeeld naar panden met een lage gevoeligheidsklasse. Daarbij staat het grondwater gemiddeld meer dan 20 cm boven de paalkoppen. Onder de aanname dat de grondwaterstand bij extreme droogte nooit meer dan 25 cm onder de GLG komt, gaan we ervan uit dat de palen onder deze panden ongeveer 1,5 dag per jaar droog staan.

Tabel 1: Indeling in gevoeligheidsklassen

Gevoeligheidsklasse	Hoe ver dekt het grondwater de paalkoppen?	Aanname van aantal dagen dat palen per jaar droog staan
Laag	GLG > 20 cm boven de top van het funderingshout	1,5
Gemiddeld	GLG > 5 cm < 20 cm boven de top van het funderingshout	22
Hoog	GLG < 5 cm boven de top van het funderingshout	29

c. Gevolgen van droogstand in verwachte schade

We weten niet precies hoeveel schade er op dit moment al is door paalrot. Ook weten we van veel panden niet of er in het verleden herstel is uitgevoerd. Daarom moeten de resultaten gelezen worden als cumulatieve schade vanaf het bouwjaar van panden tot 2050. We gaan er daarbij van uit dat panden die schade hebben, ook echt hersteld worden. Daarnaast doen we de volgende aannames:

- We nemen in deze fase aan dat de schaderelatie lineair is. Het is de verwachting dat de schade exponentieel toeneemt als palen langer droogstaan, maar op dit moment is te weinig bekend over deze relatie om in de analyse toe te kunnen passen. De schadeklassen nemen toe in stappen van 2 jaar cumulatieve droogstand: D1 = na 2 jaar, D2 = na 4 jaar, D3 = na 6 jaar, enz.
- Het type grondsoort ter hoogte van de paalkop heeft invloed op het schadeniveau. Op basis van de expertsessie nemen we aan dat het hoogste schadeniveau (D5) per grondsoort na verschillende periodes bereikt is:
 - Zand: na ongeveer 10 jaar
 - Veen: na ongeveer 15 jaar
 - Klei: na ongeveer 20 jaar

De formule hierbij is:

Schadeniveau D1-D5 paalrot = f[# dagen verwachte droogstand/jaar (Gevoeligheidsklasse) * leeftijd pand in 2050 (type ondergrond bij paalkop klei/veen/zand)]

In de tabel hieronder zie je deze klassen met daarachter de geschatte minimale en maximale kosten per pand.

Tabel 2: Overzicht van herstelwerkzaamheden per schadeklasse, uitgaande van de gemiddelde inhoud per pand 200 m3 in Nederland. Bron inschatting KCAF.

Schadeklasse	Herstelwerkzaamheden	Min herstelkosten/ pand €	Max herstelkosten/pand €
D1	Schilderwerk binnen	500	2.000
D2	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers	500	5000
D3	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk	2.000	10.000
D4	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk, herstel kozijnen, vloeren	10.000	60.000
D5	Schilderwerk binnen, opvullen/ herstel scheuren (buiten), huur van steigers, herstel pleisterwerk, herstel kozijnen, vloeren, herstel fundering	30.000	120.000

Wat zijn de uiteindelijke formules?

Uiteindelijk zijn we tot 2 formules gekomen. De eerste berekent de verwachte schade per gemeente, de tweede berekent de verwachte schade per pand:

- Schade per gemeente = SOM verwachte schade in € panden/ gemeente (door paalrot + verschilzetting op staal)
- Verwachte schade per pand (door paalrot of verschilzetting op staal) = min/max schade in € (schadeniveau D1-D5)¹ * P (funderingstype)²
- Schadeniveau D1-D5 = f(# dagen verwachte droogstand/jaar (Gevoeligheidsklasse); leeftijd pand in 2050; type ondergrond ter hoogte paalkop (klei/veen/zand))

II. Methode risico-analyse verschilzetting panden op staal

De methode om het risico in te schatten op verschilzetting bij fundering op staal bestaat uit drie onderdelen:

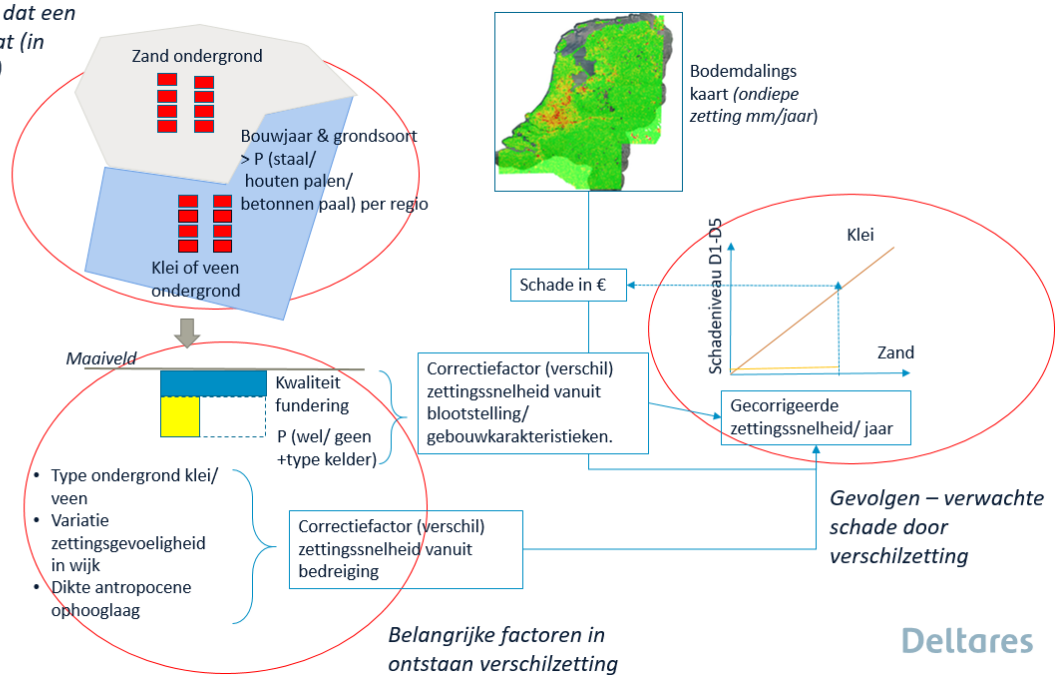
- We schatten in of een pand op staal gefundeerd is.
- We bepalen hoe gevoelig het pand is voor verschilzetting. Daarbij kijken we niet alleen naar de snelheid waarmee de bodem daalt, maar ook naar factoren in de ondergrond en eigenschappen van het pand zelf.
- We schatten in wat de schade voor een pand zal zijn als gevolg van verschilzetting.

Figuur 8 geeft een overzicht van deze onderdelen:

¹ Voor uitwerking schadeniveau: zie tabel 3

² De kans op een bepaald funderingstype

Wat is de kans dat een pand staal staat (in slappe grond?)



Figuur 8: Overzicht aanpak risico-analyse verschilzetting panden op staal

a. Is een pand op staal gefundeerd?

De kans dat een pand op staal gefundeerd is, hebben we op dezelfde manier ingeschat als bij paalrot. Van veel panden is niet zeker op welke fundering ze staan, vooral niet van oudere panden. In bepaalde periodes was de fundering in verschillende regio's ongeveer hetzelfde. Met hulp van de gebiedskennis van funderingsexperts hebben we een landelijke indeling gemaakt in regio's met vergelijkbare funderingspraktijken over de tijd. Op basis van leeftijd en ondergrondtype is daarmee per pand een inschatting gemaakt van de kans dat een pand op houten palen of op staal gefundeerd is. Gebieden op zandgrond zijn niet meegenomen in de analyse.

b. Is het pand gevoelig voor verschilzetting?

Of een pand op staal gevoelig is voor verschilzetting, hangt van meerdere factoren af:

1. Hoe sterk daalt de bodem in een bepaald gebied?
2. Hoe gevoelig is de ondergrond in een bepaalde locatie voor het optreden van verschilzetting?
3. Zijn er eigenschappen in de constructie van het pand die het meer of minder gevoelig maken voor verschilzetting?

Hieronder lichten we deze factoren toe:

1. Bodemdaling leidt niet automatisch tot verschilzetting, maar het is wel goed om bodemdaling als startpunt te nemen. Want pas als de bodem daalt, kan het pand scheefzakken. Hoe sterker de daling, hoe groter de kans op verschilzetting. Om de bodemdaling per gebied te bepalen, hebben we de ondiepe dalingskaart van bodemdalingskaart.nl gebruikt. Daarmee is bodemdaling door gas- of grondstofwinning niet meegenomen in de analyse.
2. Gevoeligheid voor verschilzetting vanuit de ondergrond:
 - Hoe dikker de ophooglaag, hoe meer 'voorbelaasting' in het verleden, en hoe kleiner de kans op verschilzetting.

- De gevoeligheid voor verschilzetting per wijk: hoe groter de variatie in een gebied, hoe groter de heterogeniteit in de ondergrond, en hoe groter de kans op verschilzettingen van panden.
 - Als een pand op klei staat, is de kans groter dat het verzakt. Want klei krimpt in droge periodes en zwelt in natte periodes.
3. De volgende eigenschappen van het pand maken het meer of minder gevoelig voor verschilzetting:
- Oudere panden hebben een grotere kans op verschilzetting, omdat de fundering van die panden van slechtere kwaliteit is.
 - Als er een souterrain in het pand zit, is de kans op verschilzetting kleiner.
 - Als er onder een deel van het pand een kelder zit, is de kans op verschilzetting groter doordat de constructie dan ongelijk is.

Voor de schatting van de schade zijn we uitgegaan van de bodemdaling uit de bodemdalingskaart. Die hebben we gecorrigeerd op de factoren onder 2 en 3. In de tabel hieronder staan de verschillende correctiefactoren.

Tabel 3: Overzicht correctiefactoren gebouweigenschappen en ondergrond

		Correctiefactor	Correctiefactor onder klimaatverandering
Correctiefactor gebouweigenschappen			
Kwaliteit fundering	Hoog	0,8	0,8
	Gemiddeld	1	1
	Laag	1,2	1,2
Aanwezigheid souterrain	Ja	0,8	0,8
	Nee	1	1
Aanwezigheid kleine kelder	Ja	1,2	1,2
	Nee	1	1
Correctiefactor ondergrond			
Dikte antropogene ophooglaag	0-1 m	1	1
	1-2 m	0,95	0,95
	> 2 m	0,85	0,85
Ligging op ondergrond van klei	ja	1,2	1,5
	nee	1	1
Variatie zettingsgevoeligheid in buurt	laag	1	1
	gemiddeld	1,05	1,15
	hoog	1,1	1,25

c. Hoe hebben we de schade van verschilzettingen berekend?

Op basis van de zettingssnelheid uit de bodemdalingskaart en de correctiefactoren berekenen we voor elke locatie een zettingssnelheid. Omdat er geen relatie bestaat tussen de lokale bodemzakking en het verwachte schadeniveau, gaan we uit van een lineaire relatie tussen zettingssnelheid en verwacht schadeniveau in 2050. In tabel 5 staan de gecorrigeerde zettingssnelheden per jaar per schadeklasse. We hebben de indeling in schadeklassen los gebaseerd op de klassen van zettingssnelheid in de Richtlijn inspectie en beoordeling funderingen op staal (F3O, 2014).

Tabel 4: Aanname voor schaderelatie gecorrigeerde zettingssnelheid – verwacht schadeniveau in 2050. .

Gecorrigeerde zettingssnelheid/ jaar	Schadeklasse
<2 mm	D2
2-3 mm	D3
3-4 mm	D4
> 4 mm	D5

Om de verwachte schade in euro's te berekenen, gaan we uit van de prijzen in Tabel 3, dus dezelfde als bij paalrot. Net als bij paalrot weten we niet hoeveel schade panden nu hebben door bodemdaling. Ook weten we van veel panden niet of er in het verleden herstel is uitgevoerd. Daarom lezen we ook deze resultaten als een cumulatieve schade vanaf het bouwjaar tot 2050.

Wat is de extra schade door klimaatverandering?

In scenario WH zorgt meer extreme en langdurende droogte voor extra bodemdaling. Daarnaast wordt krimp-zwel gedrag van kleigronden versterkt. Omdat er nog geen landsdekkende bodemdalingsprognose onder klimaatverandering beschikbaar is, is voor de indicatie van extra schade door klimaatverandering in dit stadium gewerkt een ander gewicht toegekend aan correctiefactoren 'ligging op ondergrond van klei', en variatie zettingsgevoeligheid in buurt'.

Welke onzekerheden zijn er?

Houd er rekening mee dat we niet alles in de berekeningen kunnen meewegen:

- We weten niet precies hoe snel de bodem moet zakken om kleine of grote schade aan een fundering te veroorzaken.
- We weten niet hoeveel schade funderingen nu hebben door verschilzetting. Daarom doen we een schatting van de totale schade vanaf het bouwjaar van elk pand tot 2050.
- De landelijke GLG-kaart van het Nationaal Watermodel kan geen voorspellingen doen over de stand van het grondwater in steden. De stand van het grondwater kan daar enorm verschillen, bijvoorbeeld door lokale werkzaamheden waarvoor grondwater moet worden gepompt, lekkende leidingen, ondergrondse infrastructuur en gebouwen, de invloed van bomen en peilaanpassing aan bodemdaling. De echte schade door paalrot kan daardoor afwijken van de schattingen in de Klimaatschadeschatter.
- De inschatting van het type fundering is erg onzeker. Idealiter wordt deze aanname verbeterd op basis van een lokale archieven en technisch onderzoek.
- We weten niet hoeveel schade funderingen op houten palen nu hebben door paalrot. Dat komt doordat we niet weten hoe vaak en hoelang de palen in het verleden droog hebben gestaan. Daarom doen we een schatting van de totale schade vanaf het bouwjaar van elk pand tot 2050.
- Schade aan paalfunderingen kan ook door andere oorzaken ontstaan dan door paalrot. Bijvoorbeeld door negatieve kleeft of aantasting door bacteriën. Deze schade hebben we niet meegerekend en kun je in deze kaart dus niet zien.

Stappenplan paalrot

In dit stappenplan gaan we alleen in op schade door paalrot. Op de website van het [Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek](#) (KCAF) vind je meer oorzaken van schade aan funderingen.

De invulling van dit stappenplan wordt nog gewijzigd door nieuwe inzichten uit de pilot in Rotterdam. De methode wordt gevalideerd met lokale gegevens, waardoor we ook de bandbreedtes van de schadegetallen mogelijk kunnen verkleinen.

Dit stappenplan legt uit hoe je in kaart kunt brengen hoe groot de kans nu is op schade door paalrot in verschillende buurten. En het legt uit hoe je een inschatting kunt maken van extra schade door paalrot in de toekomst, volgens verschillende klimaatscenario's.

Stap 1: Wat weet je al over de kwaliteit van funderingen?

Probeer eerst te achterhalen wat er al bekend is over de kwaliteit van panden en funderingen in de gemeente. Die kennis kun je soms vinden bij de gemeentelijke constructeur of bouwinspecteur. Onderzoek ook over welke panden er in het verleden klachten zijn ingediend over funderingen. Deze klachten kun je vinden bij de gemeente of bij het KCAF.

Stap 2: Welke panden hebben houten palen?

Probeer erachter te komen welke panden op houten palen zijn gebouwd. Vraag aan experts of zij weten welke funderingsmethoden er in bepaalde bouwperiodes gebruikt zijn. Zoek daarnaast op welk bouwjaar alle panden hebben, in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Zo kun je een inschatting maken van welke panden er op houten palen gebouwd zijn. Je kunt dit nog preciezer uitzoeken door archiefonderzoek te doen: in bouwtekeningen, bouwkundige rapporten en monitoringsgegevens staat vaak informatie over het type fundering. Sommige steden hebben ook funderingskaarten, zoals Rotterdam, Schiedam en Zaanstad. Daarin staan ook resultaten van funderingsonderzoeken en soms staat erin of funderingen hersteld zijn. Hoe je zo'n funderingskaart maakt, vind je ook in de [Handleiding funderingsproblematiek voor gemeenten](#) van het KCAF.

Stap 3: Waar staat het grondwater te laag?

Onderzoek daarna waar het grondwater te laag staat. Daarvoor moet je weten hoe diep de houten palen liggen en hoe hoog het grondwater op elke plek staat. De grondwaterstand in steden kan per pand sterk verschillen. Hoe sterk droogte de grondwaterstand beïnvloedt, hangt af van verschillende factoren, zoals menselijke activiteiten, de weerstand van de waterbodem, wel of geen bomen en planten, wel of geen oppervlaktewater in de buurt, kwaliteit en type riolering. Stel bijvoorbeeld dat de riolering lek is. Dan kan er veel grondwater via het rioolstelsel weglopen, waardoor het grondwater daalt.

Hoe kom je er nu achter waar het grondwater te laag staat? Daarvoor moet je eerst de bestaande grondwatergegevens van de gemeente analyseren. Zo kun je alvast een onderscheid maken tussen gebieden die meer en minder kans op paalrot lopen. Daarna kun je dicht bij de funderingen die meer kans lopen op paalrot, een meetnet installeren. En je kunt een grondwatermodel ontwikkelen.

Stap 4: Welke panden lopen veel risico?

Met de informatie uit de stappen hiervoor kun je tot een inschatting komen van het risico dat panden schade hebben door paalrot. Dat kan door de informatie te combineren in een aandachtsgebiedenkaart of risicokaart. Daarop staan de panden ingedeeld in verschillende risicoklassen. De resultaten op de risicokaart kun je valideren of aanvullen met gegevens van InSAR-

satellieten. Deze satellieten kunnen meten welke panden verzakt zijn. Op basis van die gegevens kun je laten inspecteren wat de schade van een pand precies is.

Stap 5: Schat de schade en de kosten

Met de risicokaart uit stap 4 kun je een schatting maken van het aantal panden dat schade heeft of krijgt door paalrot:

1. Bij hoeveel panden moet de fundering binnen 5 jaar hersteld worden?
2. Bij hoeveel panden moet de fundering over 10 tot 30 jaar hersteld worden?
3. Bij hoeveel panden moet de fundering over 30 tot 50 jaar hersteld worden?

Daarna kun je een schatting maken van de kosten om de schade te herstellen. Bepaal daarvoor eerst de kosten per type pand en per buurt.

Daarna kun je als gemeente een communicatie- of voorlichtingstraject beginnen. Sommige gemeenten doen dit al, en delen ook informatie met elkaar hierover. Hoe voorkomen we funderingsschade zoveel mogelijk, hoe pakken we dat als gemeente aan, hoe geven we voorlichting over funderingsschade? Een aantal gemeenten is aangesloten bij het Fonds Duurzaam Funderingsherstel, om bewoners leningen te verstrekken bij schadeherstel.

Stap 6: Schat de schade per klimaatscenario

Met een grondwatermodel kun je inschatten wat de impact van klimaatverandering zal zijn op schade door paalrot. Die inschatting maak je per klimaatscenario. Het verschil tussen het aantal panden met paalrot in bepaalde risicocategorieën, geeft een inschatting van de klimaatschade.

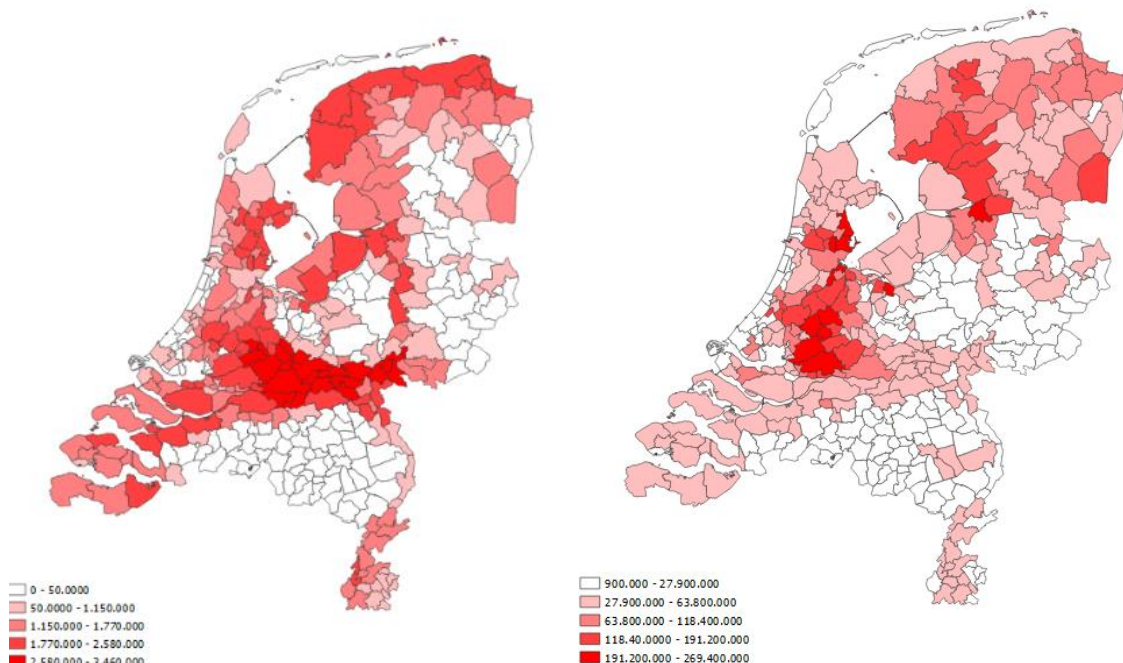
6.2 Schade aan wegen en riolering door droogte

Sweco

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

De resultaten van het onderzoek bestaan uit twee delen:

1. Het eerste deel laat zien wat in 2018 de aanvullende onderhoudskosten waren door de droogte aan wegen en riolering. Vooral in het rivierengebied met een ondergrond van klei waren de kosten hoger dan in andere jaren. De resultaten zie je links in figuur 9. De totale schade in 2018 is ingeschat tussen 130 tot 390 miljoen euro.
2. Het tweede deel laat zien wat de inschatting is van de totale schade door droogte aan wegen in heel Nederland tot 2050. Vooral voor gemeenten op veengronden zijn de kosten hoger geschat dan voor gemeenten op klei- en zandgronden. De resultaten zie je rechts in figuur 9. De totale schade tot 2050 is ingeschat op 6,2 tot 18,2 miljard euro.



Figuur 9: Aanvullende schade in 2018 (links) en verwachte schade 2018 - 2050 aan wegen en riolering door droogte (rechts)

Welke methode hebben we gebruikt?

De methode om de schadekosten aan wegen en riolering door droogte in te schatten bestaat uit de volgende stappen:

1. Met steekproeven hebben we de extra zettingen door de droogte in 2018 in beeld gebracht. Dat hebben we gedaan met hulp van satellietdata.
2. We hebben de lokale zettingen vertaald naar een landelijke zettingskaart, waarbij rekening gehouden is met het type ondergrond.
3. Per gemeente hebben we het type ondergrond bepaald.
4. We hebben de zettingen vertaald naar extra kosten aan wegen en riolering per type ondergrond.
5. We hebben bepaald welke invloed klimaatveranderingen op de kosten hebben.
6. De berekende kosten hebben we vergeleken met andere studies.

Hieronder lichten we deze stappen toe.

1. Steekproeven met satellietdata

Om de zettingen in Nederland in beeld te brengen, hebben we gebruikgemaakt van beelden van de Sentinel-1-satelliet. Omdat het veel tijd kost om de data van deze satellietbeelden te verwerken, hebben we steekproeven gedaan. De steekproeflocaties hebben we gekozen op type ondergrond:

- bodems die voor het grootste deel bestaan uit veen
- bodems die voor het grootste deel bestaan uit klei
- bodems die bestaan uit een mengeling van zand/veen en zand/klei.

De satelliet meet om de 10 dagen van hetzelfde gebied hoe hoog het grondoppervlak is, waardoor we een goed beeld kunnen krijgen van de dalingen en stijgingen ervan.

De metingen van de satelliet hebben we vertaald naar zettingen voor 2 periodes:

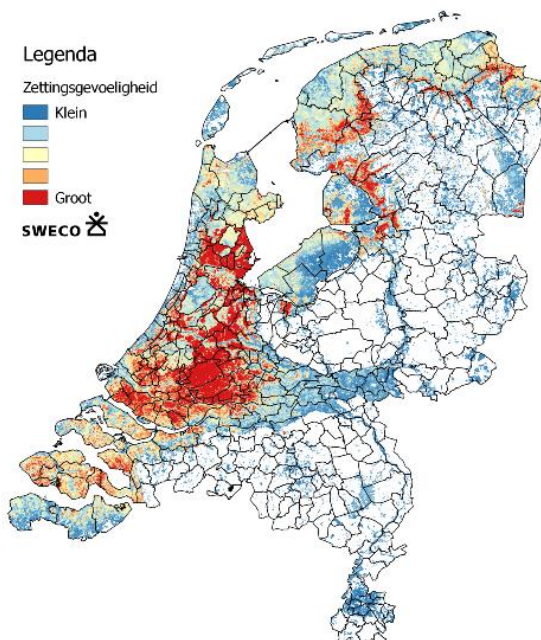
- de periode 2016-2017
- de periode 2018

Er zijn geen langere meetreeksen (openbaar) beschikbaar voor de Sentinel-1 satelliet.

We hebben gemeten wat de verschillen in zettingen zijn tussen deze twee periodes. De extra zettingen in 2018 duiden we als schade door klimaatverandering.

2. Van lokale zettingen naar landelijke zettingskaart

De data uit de steekproeven hebben we vertaald naar een beeld voor heel Nederland. Daarbij hebben we gebruikgemaakt van de bodemkaart van Nederland en van de kaart die de risico's op bodemdaling aangeeft in Nederland, zie figuur 10. Door de gemeten zettingen van de satellietbeelden te koppelen aan de zettingsgevoeligheid van deze kaart, konden we de gemeten zettingen vertalen naar een landelijke zettingskaart.



Figuur 10: Zettingsgevoeligheid

3. Type ondergrond per gemeente

Daarna hebben we per gemeente de ondergrond bepaald. Dat hebben we gedaan met hulp van de bodemkaart van Nederland. Daarbij komen we op de volgende vijf hoofdtypen: zand, rivierklei, zeeklei, leem en veen. Per gemeente hebben we bepaald welk aandeel elk bodemtype heeft. Daarna hebben we de zettingen uit stap 2 gekoppeld aan deze ondergrondtypen. Ook hebben we bepaald hoeveel m² wegen de gemeente per ondergrondtype heeft. Hierbij hebben we onderscheid gemaakt tussen open en gesloten verharding. Zo hebben we ingeschat hoeveel extra zetting er per weg per type ondergrond is geweest in 2018.

4. Van zettingen naar kosten aan wegen en riolering

De extra zettingen uit stap 3 hebben we in stap 4 vertaald naar aanvullende kosten voor wegen en riolering. De schade aan riolering hebben we gekoppeld aan de schade aan wegen. Als de weg vervangen moet worden, moet ook het riool vervangen worden. We gaan er daarbij van uit dat de zetting bij riolering hetzelfde verloopt als bij wegen. Bij de berekening hebben we gekeken naar:

- bodemopbouw
- type verharding
- kosten om de infrastructuur te vervangen.

En we hebben gebruikgemaakt van de volgende bronnen:

- De studie 'Kosten in Beeld' van Platform Slappe Bodem. Hierin staat welke kosten zettingsgevoelige gemeenten in 2018 hadden aan gemeentelijke infrastructuur. De kengetallen voor wegen en riolering uit deze studie hebben we ook gebruikt.
- Een wegenexpert heeft onze analyse van de data verder verdiept. Zo hebben we bijvoorbeeld gekeken of een weg een open of gesloten verharding heeft. De invloed van zettingen op een open verharding is namelijk kleiner dan op een gesloten verharding.

5. Invloed van klimaatverandering

Eind 2018 heeft het KNMI onderzoek gedaan naar de droogte van 2018. Daaruit blijkt dat de droogte van 2018 ongeveer eens in de 30 jaar voorkomt. Het KNMI verwacht dat zulke droogtes door klimaatverandering toenemen: in de toekomst zullen ze naar verwachting eens in de 15 tot 25 jaar voorkomen.

In deze studie gaan we ervan uit dat extreme droogte eens in de 15 jaar voorkomt. Dat doen we omdat het KNMI uitgaat van een gemiddelde over heel Nederland, terwijl er in Nederland grote verschillen zijn. Zo hadden sommige gebieden in het westen weinig last van de droogte in 2018, terwijl een aantal gebieden in het oosten droger waren dan bijvoorbeeld in 1976.

6. Kosten vergeleken met andere studies

We hebben de berekende kosten vergeleken met twee studies die eerder zijn gedaan:

- We hebben de kosten vergeleken met de studie 'Kosten in Beeld' van het Platform Slappe Bodem. In die studie is een inschatting gemaakt van de aanvullende kosten aan wegen door zettingen door droogte, op basis van data van enkele gemeenten. De resultaten geven een kostenrange aan van 2,1 tot 6,5 miljard euro voor deze gemeenten. De kosten in ons onderzoek komen uit op 1,8 tot 8 miljard euro voor dezelfde gemeenten.
- We hebben de kosten vergeleken met de studie 'Dalende bodem, stijgende kosten' van het Planbureau voor de Leefomgeving. Deze studie was bedoeld om de gevolgen van bodemdaling in laagveengebieden in beeld te brengen. De studie komt op een inschatting van aanvullende kosten tot 2050 voor laagveengebieden tussen 2 tot 6,2 miljard euro. De kosten in ons onderzoek komen uit op 1,8 tot 5,5 miljard euro voor veengebieden.

Welke onzekerheden zijn er?

De resultaten geven een eerste indicatie voor de kosten aan wegen door droogte. In de berekeningen hebben we een aantal aannames gedaan:

- De berekeningen zijn gebaseerd op satellietdata van enkele locaties in Nederland. Deze aanpak geeft dus een indicatie van de dalingen van het grondoppervlak in heel Nederland. Daarnaast zijn er meer processen die tot daling van het grondoppervlak kunnen leiden. Die andere mogelijke oorzaken hebben we niet meegenomen in de berekeningen.
- Om de gevoeligheid van wegen voor zettingen te bepalen, hebben we gebieden verdeeld in vijf bodemtypen. Maar in de praktijk hangen zettingen erg af van de totale bodemopbouw. Zo bleken in 2018 vooral zandgronden met ondiepe kleilagen gevoelig voor zettingen. Zulke mengvormen hebben we niet meegenomen.
- Bij het bepalen van de kosten zijn we uitgegaan van standaardwegen en een standaardopbouw van de weg. In de praktijk zullen de wegen veel gevarieerder zijn. De kosten om een zelfde weg binnen een gemeente te vervangen, kan al verschillen door het type ondergrond.
- Het is bekend dat enkele wegen in Nederland in 2018 schade hebben opgelopen door de droogte. Vooral dijkwegen leken hiervoor gevoelig. Door de gebruikte methode komen deze lokale wegen met schade niet terug in de resultaten. Hierdoor zullen de kosten in sommige gemeenten hoger zijn dan hier berekend.
- De Rijkswegen hebben we niet meegenomen in de berekeningen. De opbouw en de fundering van deze wegen verschilt enorm met de provinciale en lokale wegen. Hierdoor reageren deze wegen anders op zettingen in de ondergrond. De kosten om deze wegen te vervangen zijn niet vergelijkbaar met de andere wegen. Rijkswaterstaat is op dit moment bezig met een onderzoek naar de effecten van de droogte op het rijkswegennetwerk. Hierbij kijken ze niet alleen naar de schade door extra onderhoud, maar ook naar de maatschappelijke schade.
- In deze studie hebben we vooral gekeken naar de kosten aan wegen. De aanvullende kosten aan de riolering hebben we gekoppeld aan de zettingen in wegen. Onduidelijk is welke invloed zettingen hebben op het riool en ook welk effect de diepteligging van het riool op de gevoeligheid heeft. Daarnaast is de riolering in sommige gebieden gefundeerd om zettingen tegen te gaan. Hiermee hebben we in dit onderzoek geen rekening gehouden.

Stappenplan

Stap 1: Gebruik betere satellietdata en interpretatie om zettingen op de wegen te bepalen

In de huidige berekeningen is gebruik gemaakt van de gratis beschikbare data. Het is bekend dat de data en analyses van betaalde satellietdata beter is. Ook zal de techniek door de jaren verbeteren, waardoor de berekende zettingen nauwkeuriger worden.

Daarnaast is nu gebruik gemaakt van enkele representatieve locaties in Nederland om de zetting voor heel Nederland te bepalen. Hierdoor worden aannames gedaan van de zettingen in de overige gebieden. Door lokale data te gebruiken wordt meer inzicht verkregen in de daadwerkelijke zetting in een gebied.

Stap 2: Bepaal per weg de zettingen en de ondergrond

In de huidige berekening zijn gemiddelden gebruikt voor zettingen per type ondergrond. Uit de data blijkt dat zettingen aan wegen lokaal kunnen verschillen. Ook de ondergrond en de fundering van de wegen is van belang om te bepalen welke zetting tot welke schade leidt. Op lokaal niveau is dit beter en nauwkeuriger mee te nemen dan in de huidige kaart.

Stap 3: Bepaal per weg de huidige opbouw en het effect van zettingen hierop

De fundering van wegen verschilt, per type weg en ook per type ondergrond. Dit heeft effect op de kosten van het vervangen van de weg alsook de gevoeligheid van de wegen voor zettingen.

Stap 4: Bepaal koppeling tussen schade aan wegen en riolering

In deze studie is aangenomen dat de zettingen aan maaiveld direct te vertalen zijn naar zettingen aan de riolering. In de praktijk hangt dit vooral af van hoe het wegcunet is opgebouwd. Door de opbouw van het wegcunet mee te nemen in de analyse kan beter bepaald worden of zettingen aan maaiveld effect hebben op de riolering. Daarnaast is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende typen riolering en is onbekend hoe deze verschillende typen reageren op zettingen.

Ook is bekend dat in sommige gebieden de riolering is gefundeerd om zettingen op te vangen.

6.3 Schade aan gemeentelijk groen

Wageningen Environmental Research

Langdurige droogte leidt tot schade aan bomen en planten. De kosten voor boombeheer nemen toe, onder andere door het snoeien van dode takken en extra water geven. In sommige gevallen moet de boom helemaal vervangen worden. De Klimaatschadeschatter geeft een schatting van de schade aan bomen binnen het beheer van de gemeente.

Welke methodes hebben we gebruikt?

In het najaar van 2018 is onder leden van de Benchmark Gemeentelijk Groen (www.benchmarkgroen.nl) een enquête afgenomen over de gevolgen van de droogte. De gegevens betreffen alleen het door de gemeenten beheerde groen, vooral binnen de bebouwde kom. Op verzoek van de gemeenten die deelnemen aan de Benchmark Gemeentelijk groen vond in 2019 een vervolgonderzoek plaats. Dit omdat vervolgschade aan bomen (niet goed uitlopen in 2019) pas in 2019 zichtbaar worden. De resultaten van dit vervolgonderzoek zijn nog niet bekend. De enquêteresultaten geven inzicht in hoeveel schade per boom optrad in 2018. Het is bij de Benchmark Gemeentelijk Groen ook bekend hoeveel bomen een gemeente ongeveer heeft, zie tabel 6.

Tabel 5: Gemiddeld aantal bomen per inwoner bij verschillende inwonersaantallen van een gemeente

Inwonersaantal gemeente	Gemiddeld aantal bomen per inwoner
<50.000	0,47
50.000 - 100.000	0,53
>100.000	0,37

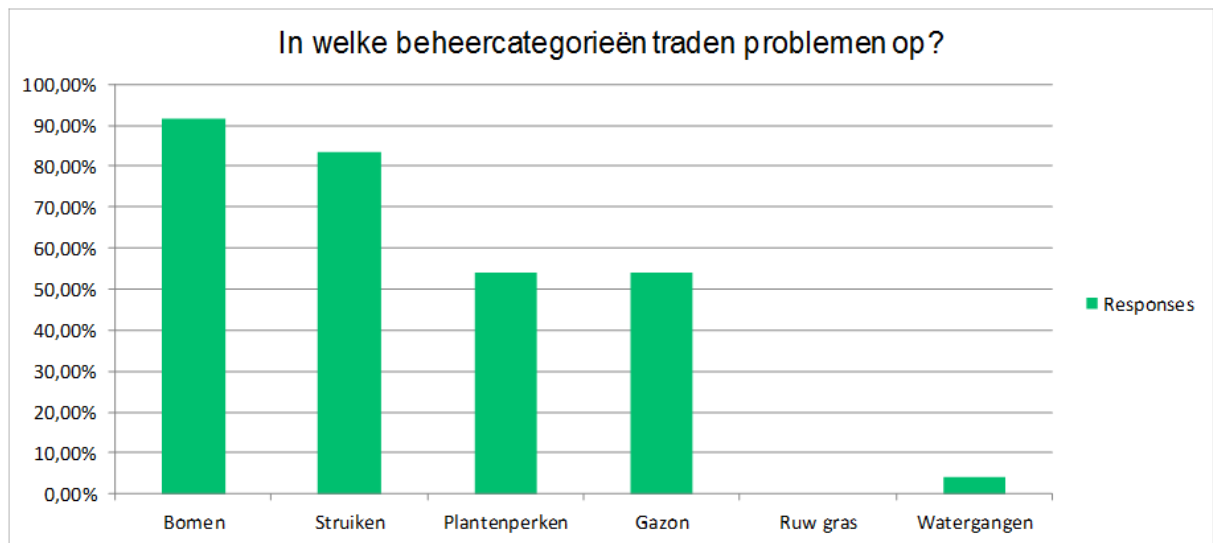
Vervolgens is bepaald hoe vaak de droogte van 2018 voor gaat komen in het huidige klimaat en bij klimaatscenario WH. Het KNMI voorspelt dat het neerslagtekort van 2018 in het huidige klimaat eens per 30 jaar voorkomt (KNMI, 2018). In het WH-scenario komt deze droogte al eens per 15 jaar voor, een verdubbeling van de kans dus.

Tabel 6: Herhalingstijden van droge jaren in het WH en GL scenario.

Jaar	Neerslagtekort (mm)	Herhalingstijd		
		Nu	2050 Wh scenario	2050 Gl scenario
1976	361	90	30	60
2018	309	30	15	25
2003	234	10	3	8

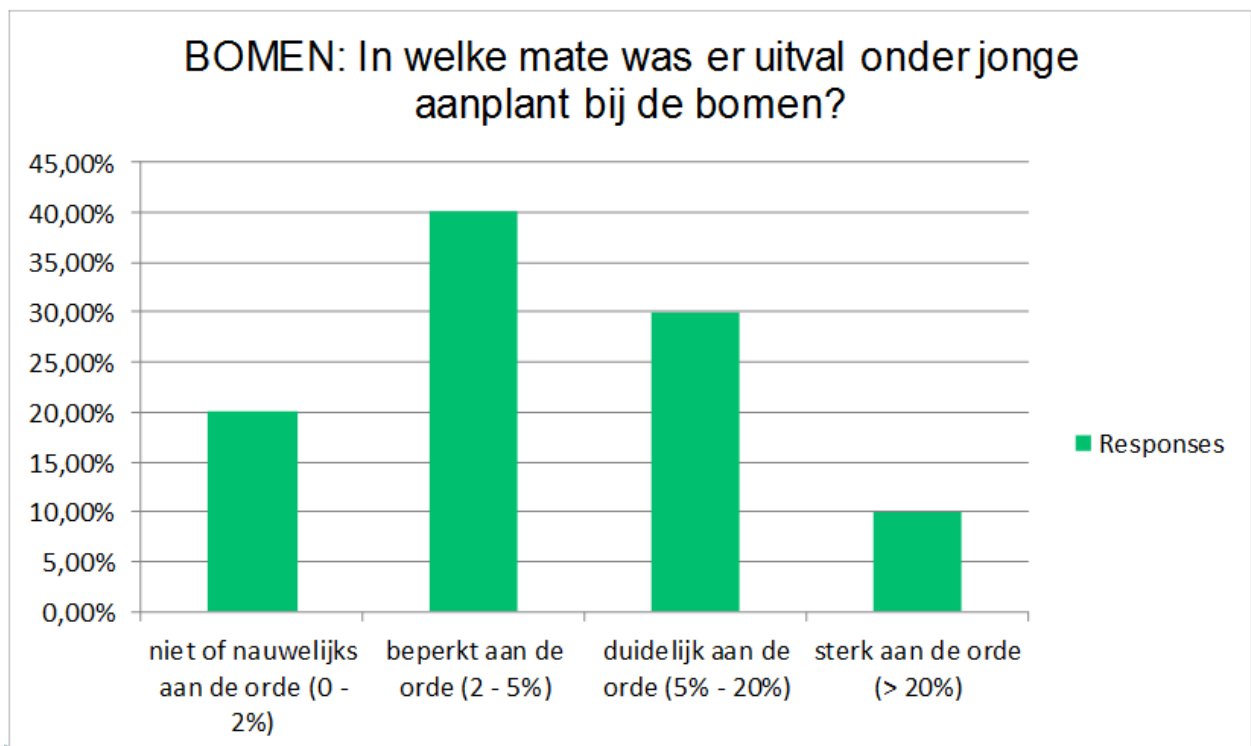
Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Uit de enquêteresultaten bleek dat vooral in de beheercategorieën struiken en bomen schade optrad, maar ook in plantenperken en in gazons. Zie figuur 11.



Figuur 11: De beheercategorieën waar problemen optraden door de droogte

De mate van schade varieerde behoorlijk van gemeente tot gemeente. Daarbij ging het vooral om schade aan jonge aanplant.

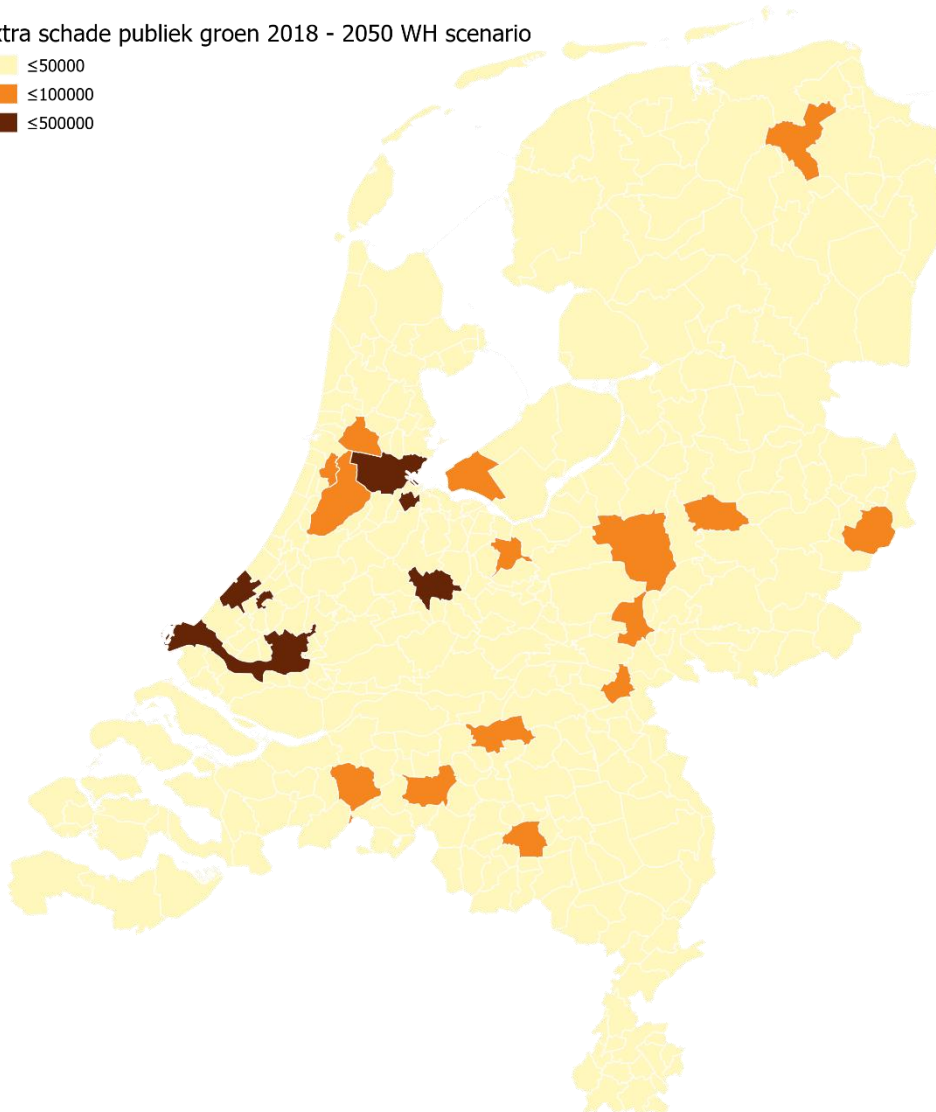
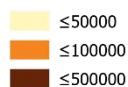


Figuur 12: Mate van uitval onder jonge aanplant bij bomen

Bij de struikbeplantingen trad de schade vooral op bij sierheesters. Sierheesters vormen ongeveer 30% van de oppervlakte van de struikbeplantingen van Nederlandse gemeenten. In Bosplantsoen, ruim 50% van de struiken, traden veel minder problemen op.

Uit een eerste analyse van de gemeentelijke beheerkosten van groen en bomen blijkt dat de kosten van gemeentelijk boombeheer in Nederland gemiddeld met ruim 10% zijn toegenomen in 2018 (De Jong et al., In prep.) Van gemiddeld €17,30 per boom in 2017 naar bijna €19,10 per boom in 2018, een toename dus van €1,80. Deze stijging is veel sterker dan in andere beheercategorieën. Doordat alleen de schade van 2018 bekend is, toont de Klimaatschadeschatter een grove onderschatting. In 2019 zijn veel bomen gestorven door de droogte, deze kosten zijn nog niet in de schatting meegenomen. Daarnaast treedt er ook schade op bij minder droge jaren. Deze minder droge jaren komen vaker voor en kunnen dus uiteindelijk tot veel schade leiden.

Extra schade publiek groen 2018 - 2050 WH scenario



Figuur 13: Extra schade aan gemeentelijk groen in de periode 2018 - 2050 in het WH scenario

Wat zijn de uiteindelijke formules?

*Schade 2018 = Aantal bomen in de gemeente * €1,80.*

*Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = (Schade 2018/30) * 33*

*Extra schade 2018 – 2050 met klimaatverandering (WH-scenario) = ((Schade 2018/15) - (Schade 2018/30)) * 16,5*

30 = Herhalingstijd van droogte 2018 huidig klimaat

15 = Herhalingstijd van droogte zoals 2018, in het jaar 2050 bij klimaatscenario WH.

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

Stappenplan

Stap 1: Wat is de schade door de droogte in 2018?

Verzamel gegevens binnen de gemeente over extra uitgaven aan groen, denk aan extra water geven, snoeien en aanplanten. De meeste extra uitgaven zijn pas in het voorjaar van 2019 gedaan, dus deze kosten moeten worden meegenomen.

Stap 2: Wat is de schade door droogte in andere jaren?

Minder extreem droge jaren kunnen ook schade veroorzaken. Deze schade komt vaker voor en geeft dus ook een completer beeld van de totale schade door droogte.

Zoek op wat het neerslagtekort in dat jaar was en hoe de herhalingstijd gaat veranderen in 2050.

Stap 3: Wat is de schade voor de periode 2018 – 2050?

Gebruik de volgende formules:

*Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = (Schade 2018/30) * 33*

*Extra schade 2018 – 2050 met klimaatverandering (WH-scenario) = ((Schade 2018/15) - (Schade 2018/30)) * 16,5*

30 = Herhalingstijd van droogte 2018 huidig klimaat

15 = Herhalingstijd van droogte zoals 2018, in het jaar 2050 bij klimaatscenario WH.

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

Als ook schades uit andere droge jaren bekend zijn, kunnen deze in de formule geplaatst worden. De herhalingstijden moeten in de formule worden aangepast.

6.4 Schade door natuurbranden

Wageningen Environmental Research

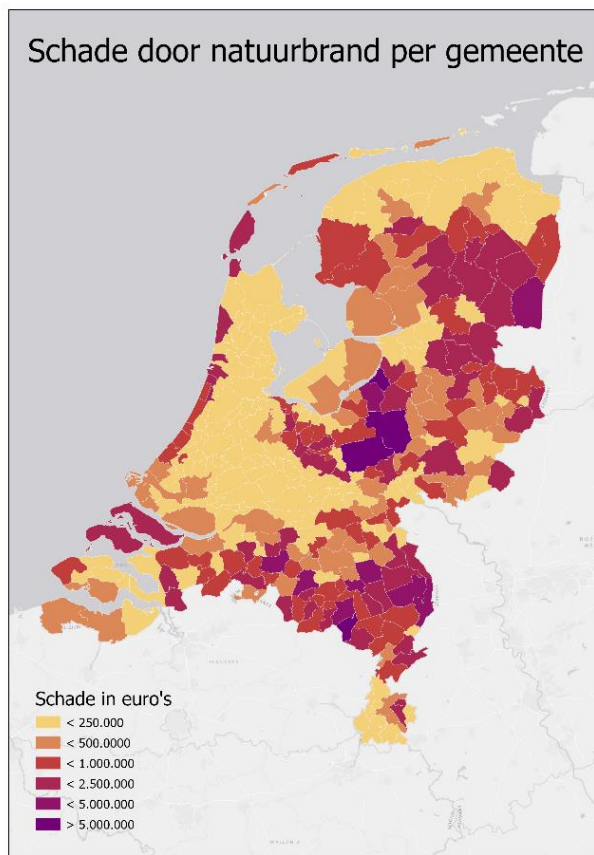
Onder een natuurbrand verstaan we een bosbrand, heidebrand, veenbrand of duinbrand. Bermbranden zijn niet in deze studie opgenomen. Natuurbranden komen in Nederland regelmatig voor in het voorjaar. Dat is heel normaal: bosbranden bestaan al zolang er bossen zijn. Maar we verwachten dat natuurbranden vaker zullen voorkomen en dat ze in de toekomst ook groter zullen zijn. Want door klimaatverandering krijgen we vaker en langer te maken met extreme droogte en hitte, en zal er vaker een droge oostenwind waaien. Die combinatie zorgt voor een groter risico op natuurbranden. Maar veel is nog onzeker. We weten niet hoe sterk het aantal branden zal toenemen, en hoe groot de omvang en de impact zal zijn. De Klimaatschadeschatter maakt een schatting van de schadekosten voor natuurbrand over de periode 2018 - 2050. Die schatting doet ze voor twee situaties:

- Het huidige klimaat verandert niet verder en blijft vanaf 2018 ongewijzigd.
- Het klimaat verandert sterk tussen 2018 en 2050: het WH-scenario van het KNMI.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Dit zijn de belangrijkste resultaten van de schattingen:

- Blijft het klimaat hetzelfde als rond 2018? Dan kosten natuurbranden Nederland minimaal €4,54 miljoen per jaar. We zeggen hier minimaal, omdat dat het bedrag is dat de directe inzet van de brandweer kost om de natuurbranden te blussen. Bij de berekening zijn we uitgegaan van de natuurbrandstatistieken over de periode 2017-2019.
- Verandert het klimaat sterk, zoals volgens het WH-scenario van het KNMI? Dan nemen de kosten in 2050 waarschijnlijk toe tot bijna het dubbele: natuurbranden kosten Nederland dan minimaal € 9,08 miljoen per jaar. Onderstaand figuur toont de schade voor de periode 2018 – 2050.



Figuur 14: Schade door natuurbrand bij het WH scenario voor de periode 2018 - 2050

Wat hebben we niet berekend?

De Klimaatschadeschatter baseert de schatting van schadekosten voor natuurbranden alleen op basis van de directe inzetkosten van de brandweer. Daarmee geeft de schatting een ondergrens aan. De werkelijke kosten zijn waarschijnlijk veel hoger. Want een natuurbrand brengt veel meer kosten met zich mee: kosten voor andere hulpdiensten en defensie, directe schade aan natuur en lokale infrastructuur die hersteld moet worden, en indirecte schade zoals schade aan (vitale) infrastructuur, recreatie en panden. Omdat de natuur in Nederland sterk verweven is met andere functies als wonen, werken en infrastructuur, kan de impact en schade van een natuurbrand heel groot zijn. Al deze andere schadeposten zijn niet berekend, omdat hierover nog geen consistente data en kengetallen beschikbaar zijn. Ook internationaal wordt de directe inzet van de brandweer het meest gebruikt als indicator voor schadekosten door natuurbranden. De kosten zullen veel hoger uitvallen als we een toekomstige samengestelde indicator berekenen die alle kosten samenbrengt. Maar daarvoor moeten er eerst consistente data en onderbouwde kengetallen beschikbaar zijn.

Welke methode hebben we gebruikt?

Voor onze berekeningen hebben we data gebruikt over:

- het aandeel van relevante natuur(typen)
- het aantal natuurbranden in de periode 2017-2019
- het aantal ingezette brandweereenheden in de periode 2017-2019

Deze data zijn van heel Nederland, maar je kunt ze relatief eenvoudig in data per gemeente opsplitsen. In de Klimaatschadeschatter kiezen we voor een schatting die gebaseerd is op

eenduidige en consistente data. De data die we hierboven genoemd hebben, zijn de enige sets met eenduidige en consistente data waarvoor we geen al te grote aannames hoeven doen of bandbreedtes hoeven te maken. Toch hebben we wel enkele aannames moeten doen. Deze lichten we toe in de alinea *Hoe zijn we tot de formules gekomen?*.

Wat zijn de uiteindelijke formules?

De formules die we voor de Klimaatschadeschatter gebruikt hebben, zijn:

- Schade Nederland totaal in peiljaar = (aantal ingezette eenheden NL periode 2017-2019 / 3) * €2163
- Schade per gemeente in peiljaar = (aantal ingezette eenheden periode 2017-2019 / 3) * €2163
- Schade Nederland totaal in 2050 = 2 * schade NL totaal 'berekend peiljaar'
- Schade per gemeente in 2050 = schade 'berekend peiljaar 2018' + (0.5 * schade berekend peiljaar) + (0.5 * schade volgens aandeel natuur)

Hoe zijn we tot de formules gekomen?

Voor het aantal branden en ingezette eenheden per gemeente zijn we uitgegaan van de natuurbrandstatistieken van Brandweer Nederland, Instituut Fysieke Veiligheid en Wageningen University & Research. Deze statistieken geven voor de periode 2017-2019 in totaal 1816 natuurbranden en 6297 ingezette brandweereenheden. Uitgangspunt voor de kosten per natuurbrand is dat een gemiddelde brandweerinzet €7500 kost. Om niet alleen het aantal maar ook de omvang van de natuurbranden aan te geven, hebben we als indicator gekozen voor het aantal ingezette eenheden. De gemiddelde kosten per ingezette eenheid zijn: $1816/6297 * €7500 = €2163$.

Welke onzekerheden zijn er?

De kosten nemen waarschijnlijk enorm toe. Maar veel in de schattingen is nog onzeker. Hoe sterk de schade zal toenemen, is nog onderwerp van onderzoek en discussie. Daar kunnen we pas meer duidelijkheid over krijgen als er goed onderbouwde inzichten zijn over de ontwikkeling van natuurbranden. De afgelopen jaren is het aantal kleine én grote natuurbranden toegenomen. Maar een echte trendbepaling kunnen we helaas nog niet maken, omdat langjarige statistieken nog ontbreken. Bij de berekeningen doen we daarom de volgende aannames:

- Bij de formules nemen we aan dat het aantal natuurbranden, aantal ingezette eenheden en de totale kosten in 2050 zijn verdubbeld ten opzichte van 2018. Ook gaan we ervan uit dat er tussen de jaartallen een lineair verband bestaat. Daarin volgen we de lijn van de Klimaatschadeschatter. Betere trendbepalingen zijn nog niet beschikbaar.
- Om een eerste correctie toe te passen zijn we ervanuit gegaan dat het aantal branden per gemeente voor de ene helft toeneemt ten opzichte van het peiljaar, en voor de andere helft toeneemt doordat de oppervlakte natuur in de gemeente in verhouding wordt gezet ten opzichte van het landelijk oppervlakte. Hierdoor voorkomen we dat gemeenten waar in de periode 2017-2019 geen branden waren, per definitie in 2050 ook geen branden zullen hebben.

In de schatting zitten dus nog veel onzekerheden en aannames. Maar hiermee maken we wel inzichtelijk wat er nodig is voor betere en preciezere schattingen.

Aanbevelingen

De Klimaatschadeschatter Natuurbrand geeft een eerste schatting van de mogelijke jaarlijkse kosten voor het huidige klimaat en voor het meest extreme klimaatscenario van het KNMI. Het is belangrijk om te beseffen dat we de schatting hebben gedaan op basis van de best beschikbare data, maar dat deze data nog beperkt zijn. De gebruikte tijdreeks is beperkt en de toekomstige trend kunnen we nog niet onderbouwen met goede data en inzichten. Daarom hebben we verschillende aannames gedaan en waar nodig een correctie toegepast. We doen de volgende aanbevelingen:

Onderbouw toekomstige trend met goede data en inzichten

Met de huidige inzichten kunnen we de voorlopige aanname doen dat het aantal natuurbranden en ingezette brandweereenheden volgens het WH-scenario zal verdubbelen. Maar om dat echt goed te onderbouwen hebben we langjarige trendbepalingen, statistieken en klimaatprojecties nodig. Daarmee kunnen we de ontwikkeling van het aantal natuurbranden en de omvang ervan beter en preciezer voorspellen.

Voeg data toe aan statistieken

Om het aantal branden en ingezette eenheden per gemeente in de Klimaatschadeschatter te berekenen, maken we gebruik van statistieken die het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) en Wageningen University and Research (WUR) sinds 2017 verzamelen en controleren. We zouden hier in de toekomst ook data aan willen toevoegen over omvang van de brand (in hectare), inzetduur en aanvullende inzet, zoals defensie. Dat zou dan consistent en consequent moeten gebeuren, zodat we deze ook kunnen meerekenen in bijvoorbeeld de Klimaatschadeschatter. Het is belangrijk dat er regels ontstaan over het bijhouden van deze statistieken.

Verzamel schadedata en stel kengetallen vast

Het zou goed zijn om de directe schadepost 'herstelschade per natuurtype of gebiedstype' aan de Klimaatschadeschatter toe te voegen. Hiervoor zijn nu nog geen vastgestelde kengetallen beschikbaar. Het zou goed zijn om deze te berekenen per hectare. Ook voor deze schadepost geldt dat we alleen reële kengetallen kunnen krijgen door goede statistieken op te bouwen. De volgende stap is dan om de mogelijke opstalschade en indirecte kosten te berekenen.

Specificeer locaties en maak onderscheid in natuurtypen

Over de locaties van de natuurbranden zijn nu weinig data beschikbaar. De meeste data bestaan uit 'meldingslocaties'. Dit betekent dat een exacte duiding van het gebied en het natuurtype niet beschikbaar is. Door een buffer te gebruiken kun je toch een schatting doen. De bufferbreedtes zijn dan natuurlijk bepalend voor de uitkomsten. Verder worden in de berekeningen van de Klimaatschadeschatter alle natuurtypen nu gelijkwaardig meegenomen. Het zou beter zijn om aan elk natuurtype een wegingsfactor toe te kennen. Vooral in relatie tot het aandeel natuur in het gebied, gebaseerd op feitelijke onderbouwing en de statistiek. Om een juiste weging te doen, verdient een langjarige reeks de voorkeur.

6.5 Droogteschade in de landbouw

Wageningen Environmental Research

Langdurige droogte leidt tot schade in de landbouw. Gewassen sterven waardoor de opbrengst lager is. Schade door droogte in de landbouw wordt niet alleen veroorzaakt door klimaatverandering. Ook het waterbeheer en (drink)waterwinning spelen een grote rol.

De Klimaatschadeschatter maakt een schatting van de schadekosten voor droogteschade landbouw over de periode 2018 - 2050. Die schatting doen we voor vier situaties:

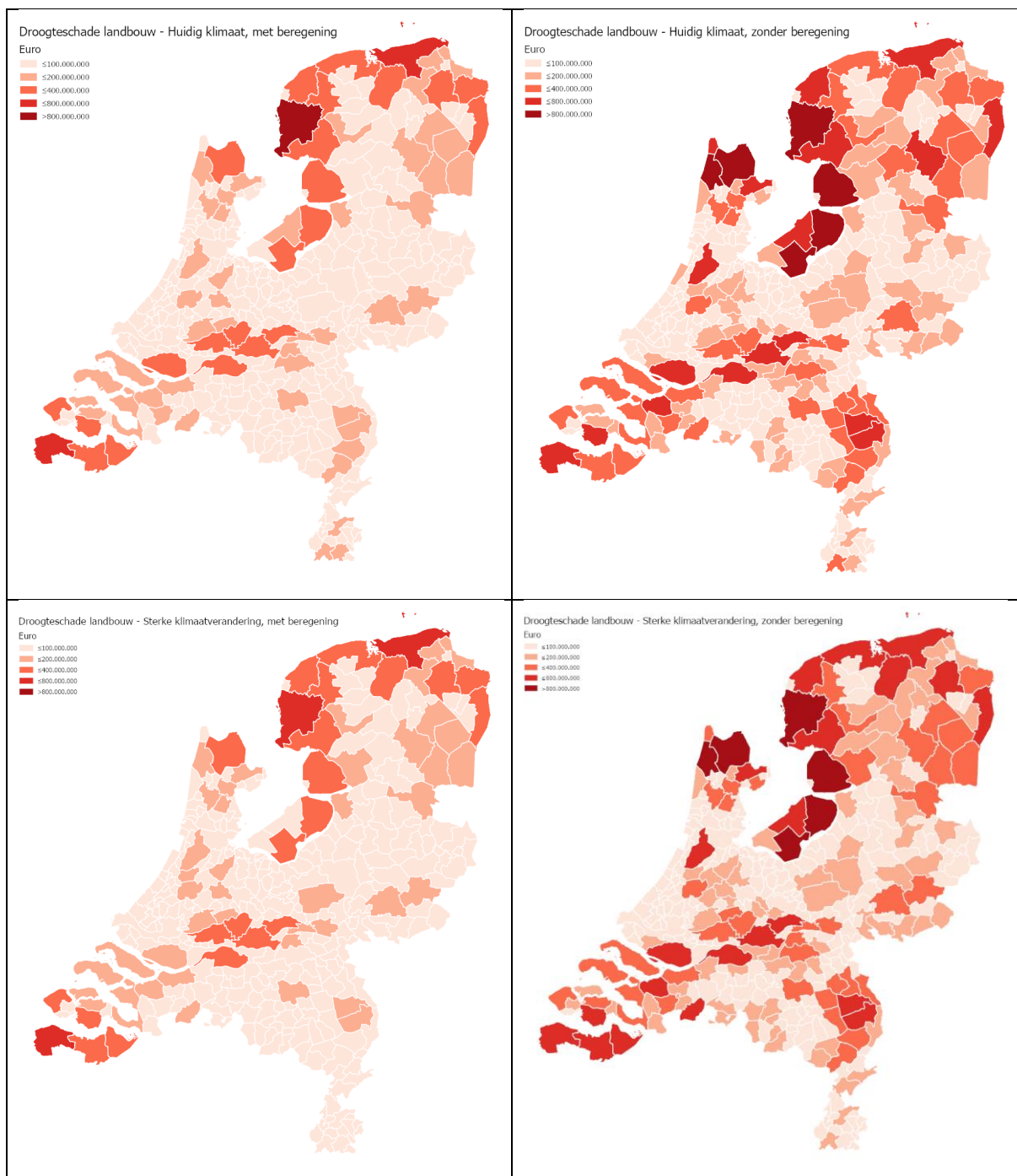
- Het huidige klimaat verandert niet verder en blijft vanaf 2018 ongewijzigd, zonder berekening.
- Het huidige klimaat verandert niet verder en blijft vanaf 2018 ongewijzigd, met berekening.
- Het klimaat verandert sterk tussen 2018 en 2050: het 'warm' scenario, zonder berekening.
- Het klimaat verandert sterk tussen 2018 en 2050: het 'warm' scenario, met berekening.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Dit zijn de belangrijkste resultaten van de schattingen:

- Blijft het klimaat hetzelfde als nu? Dan kost droogteschade aan de landbouw Nederland tot 2050 tussen de €24 en €47 miljard. De ondergrens houdt rekening met berekening en de bovengrens kijkt naar de situatie zonder berekening.
- Verandert het klimaat sterk, zoals volgens het WH-scenario van het KNMI? Dan kost droogteschade aan de landbouw Nederland tot 2050 tussen de €23 en €51 miljard. De ondergrens houdt rekening met berekening en de bovengrens kijkt naar de situatie zonder berekening. We houden hier rekening met veranderd landgebruik. Het oppervlak aan landbouwgrond neemt in 2050 af met 3% ten opzichte van nu.

Tabel 7: Droogteschade landbouw voor huidig klimaat en met sterke klimaatverandering. Links de situatie met berekening, rechts de situatie zonder berekening.



Wat hebben we niet berekend?

- Schade als gevolg van verzilting (zoutstress) wordt in deze studie geen rekening mee gehouden. Op dit moment is er nog onvoldoende landelijke data beschikbaar over de gevolgen van verzilting voor de opbrengsten in de landbouw.
- Deze analyse beperkt zich tot droogteschade en kijkt niet naar waterschade door extreme of langdurige neerslag. De Waterwijzer Landbouw toont aan dat de droogteschade velen malen hoger is dan de waterschade. Door beperkingen in de tijd en omvang van deze analyse tonen we alleen de droogteschade.

- We houden geen rekening met beregeningskosten. Als je grofweg uitgaat van ongeveer €200 per hectare (uitgaande van 100 mm beregening; variabele en vaste kosten) voor beregeningskosten dan lopen de kosten op van circa €80 miljoen voor de referentiesituatie tot ongeveer €160 tot 170 miljoen in het scenario 'warm'.

Welke methode hebben we gebruikt?

Voor het bepalen van de droogteschade in de landbouw is gebruikt gemaakt van de Waterwijzer Landbouw. Waterwijzer Landbouw is een methode voor het bepalen van het effect op landbouwproductie door veranderingen in hydrologische omstandigheden. Deze veranderingen kunnen veroorzaakt worden door bijvoorbeeld waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat.

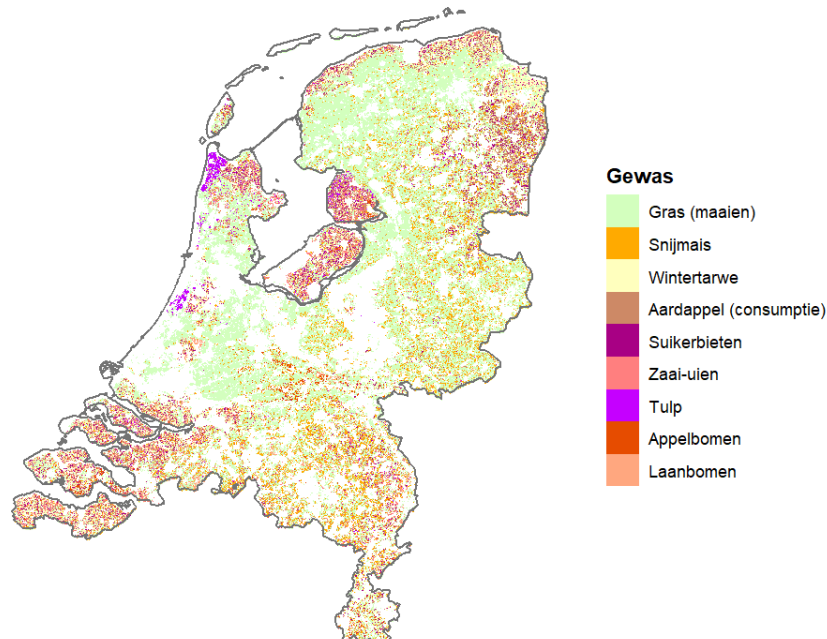
Waterwijzer Landbouw wordt in deze studie toegepast als nabewerking van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium zoals deze is toegepast bij het Deltaprogramma Zoetwater. In de Waterwijzer Landbouw worden de [deltascenario's uit 2018](#) gebruikt. Deze verhaallijnen (scenario's) leggen uit hoe het waterbeheer in Nederland er in 2050 mogelijk uit kan zien. Hierbij wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met verandering in landgebruik en irrigatiebehoefte. Voor de Klimaatschadeschatter maken we gebruik van de verhaallijn 'Warm', waar het klimaat snel verandert, maar daarnaast sociaaleconomische krimp optreedt.

Bodemtype

Voor het toekennen van het bodemtype maakt Waterwijzer Landbouw gebruik van de [Bodemfysische Eenhedenkaart \(BOFEK\)](#) (Wösten et al., 2013).

Landgebruik

Waterwijzer Landbouw maakt onderscheid in 9 verschillende landgebruiksvormen. Het oppervlak voor landbouw bedraagt in totaal circa 19.902 km² in de referentiesituatie. Het landgebruik bestaat hierbij voornamelijk uit veeteelt, een combinatie van gras (55 %) en snijmais (14 %). Overige landgebruiksvormen zijn wintertarwe (10 %), aardappelen (8 %), zaai-uien (6 %), suikerbieten (4 %), tulp (1 %), appelbomen (1 %) en laanbomen (1 %), zie Figuur 15.



Figuur 15 Landgebruik voor referentie (bron: Deltaprogramma Zoetwater)

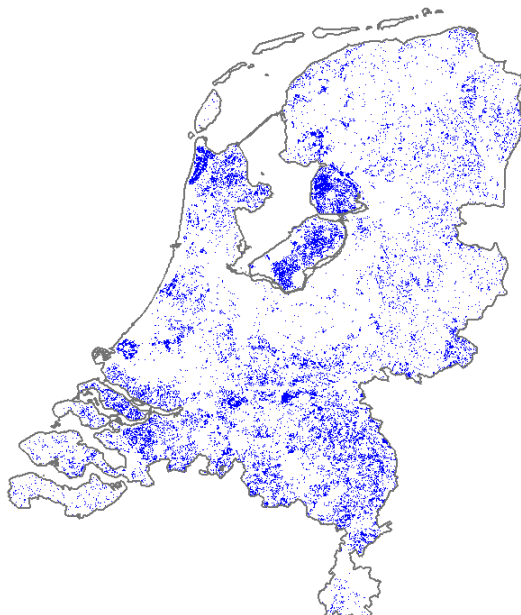
In [het deltasценario 'Warm'](#) wordt de aanname gedaan dat het oppervlakte aan landbouw in 2050 afneemt met 3% , ten opzichte van de referentieperiode. Er is vooral een procentuele afname te zien van tulpen, appelbomen en laanbomen.

*Tabel 8 Verandering in landgebruik bij klimaatsценario 'Warm'
(bron: Deltaprogramma Zoetwater)*

Landgebruik	Oppervlakte (km ²)	
Gras (maaien)	10683	(-3%)
Snijmais	2530	(-6%)
Wintertarwe	1941	(-2%)
Aardappel (consumptie)	1549	(-3%)
Suikerbieten	752	(-3%)
Zaai-uien	1133	(0%)
Tulp	245	(-12%)
Appelbomen	203	(-18%)
Laanbomen	202	(-10%)

Berekening

Ongeveer 4240 km² van het landbouwkunige oppervlak wordt in de referentieperiode mogelijk berekend, zie Figuur 16. We berekenen de schade voor de situatie met berekening en de situatie zonder berekening. We houden in de Klimaatschadeschatting geen rekening met berekeningsverboden.



Figuur 16 Berekening in de referentieperiode (bron: Deltaprogramma Zoetwater)

Ten opzichte van de referentie verdubbelt in 2050 het oppervlak bijna waar berekening kan plaatsvinden. Voor klimaatsценario 'Warm' bedraagt de toename 89 % (8000 km²). Deze aanname komt voort uit de Regioscanner Zoetwater en ook in het Deltascenario 'Warm' worden uitspraken

gedaan dat er er fors meer beregening plaats gaat vinden in 2050. De toename komt voornamelijk, doordat boeren beregeningsinstallaties hebben aangeschaft. Zij hebben de kosten en baten van deze installaties tegen elkaar afgewogen.

Grondwaterstandskarakteristieken

De kaarten 'Gemiddeld hoogste grondwaterstand' (GHG) en de 'Gemiddeld laagste grondwaterstand' (GLG) voortkomend uit het Deltaprogramma Zoetwater zijn gebruikt.

De dynamiek in het grondwaterstandsverloop neemt toe bij het klimaatscenario 'Warm'. De GHG wordt over het algemeen natter en de GLG droger, behalve op de heuvelruggen. Daar stijgt de laagste grondwaterstand.

Potentiële gewasopbrengst

Waterwijzer Landbouw berekent op basis van de klimatologische condities een potentiële gewasopbrengst uitgedrukt in biomassa en euro's per oppervlak. Er is veel verschil te zien in gewasopbrengsten (zie Tabel 9), waarbij bloembollen, fruit- en boomkwekerijen relatief veel opleveren. Het oppervlakte aan deze gewassen is wel beperkt.

Als gevolg van de verandering in het klimaat stijgt de potentiële gewasopbrengst tot ongeveer 25%. Dit is afhankelijk van het gewas. Het landbouwkundig oppervlak wordt kleiner in dit klimaatscenario waardoor deze stijging in gewasopbrengst wordt gecompenseerd.

	<i>Tabel 9 Potentiële gewasopbrengst in biomassa en euro's per landgebruiksvorm</i>			
	voor referentieperiode		voor scenario 'Warm'	
Landgebruik	Biomassa (kg_{ds} kg stuks ha⁻¹)	Euro (€ ha⁻¹)	Biomassa (kg_{ds} kg stuks ha⁻¹)	Euro (€ ha⁻¹)
Gras (maaïen)	15706	3425	19031	4260
Snijmais	19401	3865	20712	4126
Wintertarwe	8620	1927	9083	2030
Aardappel (consumptie)	13242	9855	13840	10300
Suikerbieten	15709	3591	18999	4343
Zaai-uien	55700	7798	55700	7798
Tulp	303748	130612	303748	130612
Appelbomen	33628	24717	33628	24717
Laanbomen	10	45700	10	45700

Opbrengstderving

Met behulp van de gegevens over bodemtype, landgebruik, beregening, grondwaterstandskarakteristieken en potentiële gewasopbrengst kan een inschatting worden gemaakt van de opbrengstderving in het huidige klimaat en in voor het scenario 'warm'.

Welke onzekerheden zijn er?

- Het is niet zeker hoeveel landbouwgrond er in 2050 precies is. Ook weten we niet precies hoeveel meer we in 2050 kunnen beregenen dan we op dit moment doen. Hiervoor doen we aannames.

- Er wordt geen rekening gehouden met beregeningsverboden.

Stappenplan

In de Klimaatschadeschatter gebruiken wij de methode Waterwijzer Landbouw. Wil jij inzoomen op jouw gebied? Via www.waterwijzerlandbouw.wur.nl kan je met behulp van de tool de schade voor jouw gebied bepalen. Vragen over het berekenen van deze schade kan je stellen via bovenstaande website.

7. Wateroverlast

7.1 Directe schade aan panden

Tauw

Door extreme neerslag kan water op straat blijven staan. Als water tegen panden staat, is er een kans dat het naar binnenstroomt. De directe schade aan panden bestaat bijvoorbeeld uit schoonmaakkosten en het vervangen van een vloer of inboedel. Om de directe schade te bepalen, gebruiken we twee verschillende methodes. Daarmee tonen we dus ook een bandbreedte in onze schatting. We schatten de schade met kengetallen van de Waterschadeschatter en van de Wolkbreukschadeschatter.

Welke methodes hebben we gebruikt?

Voor allebei de methodes gebruiken we onderstaande formule:

$$\text{Schade per pand, per bui} = \text{Schadekans} * \text{Schadeoppervlak} * \text{Schadebedrag}$$

In het rapport [‘Pilot Amsterdam West. Vergelijking van methodes van schatten schade wateroverlast’](#) (2019) staan de verschillen tussen de Waterschadeschatter en de Wolkbreukschadeschatter uitvoerig beschreven.

Methode met aannames Waterschadeschatter

De schades door wateroverlast zijn gebaseerd op het onderzoek ‘Overstromingsrisico’s door intense neerslag’ van Deltares. Slager (2018) bepaalde de kosten aan panden aan de hand van de kans op buien die eens per 10, 100 en 1000 jaar voorkomen. Deze buien komen overeen met respectievelijk 35 mm in twee uur, 70 mm in twee uur en 140 mm in twee uur. Als er gemiddeld meer dan 15 cm binnen een buffer van 1 meter om het gehele gebouw staat, dan wordt het hele gebouw als overstroomd beschouwd en treedt er 276 euro schade op per m² grondoppervlak. Alle panden met een bouwjaar na het inmeten van het AHN2 zijn verwijderd uit de analyse.

Methode met aannames Wolkbreukschadeschatter

De schade door wateroverlast bepalen we ook hier aan de hand van de buien die eens per 10, 100 en 1000 jaar voorkomen. Deze buien komen overeen met respectievelijk 35 mm in twee uur, 70 mm in twee uur en 140 mm in twee uur. Ook hier kijken we naar de waterstanden binnen een buffer van 1 meter rond het pand. Daarbij nemen we aan dat 15% van de muur een opening heeft waar het water naar binnen kan stromen. De kans op inundatie van een pand wordt bepaald op basis van een aantal gebouweigenschappen in combinatie met de fractie aan wateroppervlak rondom het pand en de waterdiepte in relatie tot de kans op een bepaalde drempelhoogte. De drempelhoogte is verschillend per functie van het pand. Op basis van de waterhoogte rondom het pand en de drempelhoogte is een schatting gemaakt van het oppervlak dat nat wordt.

Het schadebedrag per pand is een geschat bedrag per vierkante meter. Voor de directe schade is deze onderverdeeld in de categorie hoogbouw en laagbouw. De directe schade voor hoogbouw is 17,50 euro/m², en voor laagbouw is dit 70 euro/m². Deze bedragen zijn gebaseerd op 107 schademeldingen die bekend zijn bij Achmea, waarbij we de bedragen hebben gedeeld door het gemiddelde grondoppervlak van een woonhuis (50 m²) (zie rapportage [Vergelijking van methodes van schatten schade wateroverlast](#), komt binnenkort uit via STOWA [Pleumeekers et al, 2019]). Ook hier zijn alle panden met een bouwjaar na het inmeten van het AHN2 verwijderd uit de analyse.

Stappenplan

Met een lokale stresstestkaart kan een betere inschatting worden gemaakt. Vooral als deze lokale stresstest ook de lokale riolering in kaart brengt.

Stap 1: Welke waterdieptekaarten gebruik je als input?

We raden aan om minimaal 3 waterdieptekaarten door te rekenen. Gebruik bij voorkeur verschillende buien gebruikt met een verschillende herhalingstijd. Zoals 35 mm in twee uur, 70 mm in twee uur en 140 mm in twee uur.

Stap 2: Welke methode kun je gebruiken?

Zoals beschreven zijn er twee verschillende methodes voor het berekenen van schade door wateroverlast. De online tool van de Waterschadeschatter (www.waterschadeschatter.nl) kun je gebruiken om de schades bij verschillende buien door te rekenen. In het rapport '[Pilot Amsterdam West. Vergelijking van methodes van schatten schade wateroverlast](#)' (2019) staan alle aannames voor de methode van de Wolkbreukschadeschatter beschreven.

Stap 3: Hoe bepaal je de schade 2018 – 2050?

Op basis van de herhalingstijd van de gebruikte buien wordt de verwachte jaarlijkse schade uitgerekend op basis van de integraal van de kosten voor de verschillende buien. Anders gezegd: Risico (in €) in een bepaald jaar = Kans (herhalingstijd) x Gevolg (Schade bij een bepaalde bui).

De risico's (€) van de verschillende doorgerekende buien moeten bij elkaar opgeteld worden. De herhalingstijden van de verschillende buien in 2018 en in 2050 zijn te vinden in [de neerslagstatistieken van 2019](#) die STOWA heeft opgesteld. Een grove aanname is dat de kans op een bui ten opzichte van 2018 in 2050 verdubbelt.

Extra schade 2018 – 2050 door klimaatverandering = (Risico 2050 – Risico 2018) x 16,5

Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = Risico 2018 x 33

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

7.2 Kwantificering indirecte schade panden

Tauw

De indirecte schade voor de panden heeft te maken met inkomstenderving waarmee gebouwen te maken hebben als gevolg van waterschade. Bedrijfspanden moeten bijvoorbeeld tijdelijk sluiten en lopen hierdoor inkomsten mis. Voor waterschade aan woningen moet in het ergste geval voor de bewoners ander onderdak gezocht worden.

Welke methode hebben we gebruikt?

De indirecte schade wordt volgens grotendeels dezelfde formule berekend als de directe schade. Hierbij wordt de kans op schade (zie directe schade), de kentallen uit STOWA schadeschatter en een gelukfactor toegepast.

De schadebedragen voor indirecte schade zijn gebaseerd op de kentallen van [STOWA schadeschatter (2013)]. Hierbij is rekening gehouden met het type bebouwing. Woon- en bijeenkomstfuncties hebben over het algemeen enkel te maken met hervestigingskosten en niet met inkomstenderving. De functies zijn verdeeld over drie categorieën voor indirecte schade. Categorie hoog, hieronder vallen de functies winkel, industrie, gezondheid, kantoor, onderwijs en sport. Categorie laag, hieronder vallen panden met de functie bijeenkomst, cel, logies wonen en overige panden groter dan 25 m². De laatste categorie is zeer laag, dit zijn panden met functie overig en kleiner dan 25 m². Onderstaande tabel geeft de kwantificering van indirecte schade aan voor de verschillende categorieën.

Tabel 10: Kwantificeren van indirecte schade

Functie	Schade categorie (indirect)	Gemiddeld schadebedrag	Eenheid
Winkel, industrie, gezondheid, kantoor, onderwijs, sport	Hoog	80	€/m ² /dag
Bijeenkomst, cel, logies, wonen, overig >25 m ²	Laag	10	€/m ² /dag
Overig < 25 m ²	(Zeer) laag	0	€/m ² /dag

Stappenplan

De kans op schade aan panden kan met behulp van lokale stresstesten verfijnd worden. Hiervoor kunnen de eerste stappen van het stappenplan voor directe schade aan panden gevolgd worden. Wanneer bekend is hoeveel vierkante meters waterschade ondervindt, kan tabel 10 gebruikt worden om de indirecte schade te bepalen.

7.3 Files

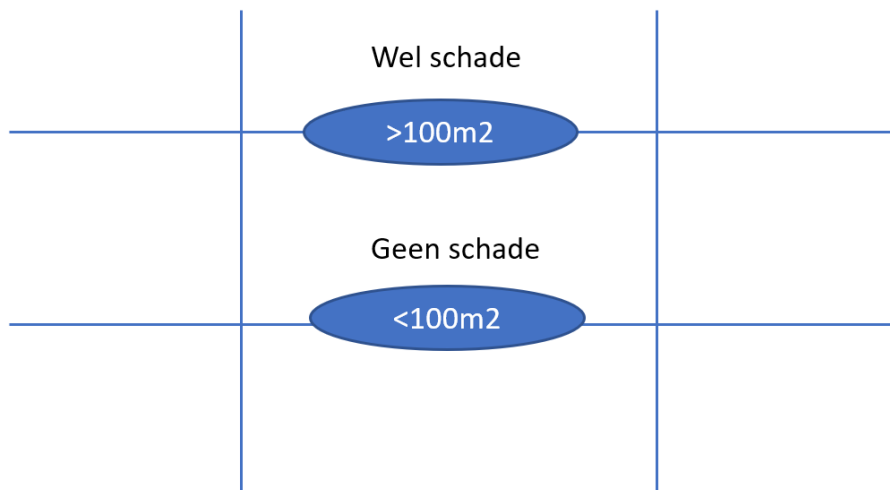
Arcadis

Water op straat zorgt voor hinder in het verkeer. Opstoppen in het verkeer leveren indirect schade op, er gaat kostbare tijd verloren. Wegen kunnen opgedeeld worden in primaire en secundaire wegen. Tijdens het onderzoek van de Klimaatschadeschatter is alleen de schade bepaald aan de secundaire wegen, dit zijn regionale wegen, ofwel n-wegen. Primaire wegen, de snelwegen, en lokale wegen zijn niet onderzocht. Er zijn geen schadebedragen per gemeente berekend, dit kan wel berekend worden met het stappenplan.

Welke methode hebben we gebruikt?

De indirecte schade aan wegen is berekend aan de hand van de water-op-straat kaart uit de Klimaateffectatlas voor de buien 35 mm, 70 mm en 140 mm in twee uur (Tygron berekening voor 2m*2m grid door Deltares – (Slager, 2018)).

Als eerste nemen we aan dat er alleen schade optreedt als er meer dan 100 m² van het wegvak van een secundaire weg overstroomd is, zie figuur 17. Een wegvak is een deel van de weg tussen twee kruispunten. Hiervoor gebruiken we het BGT.



Figuur 17: Weergave wanneer schade aan wegen optreedt door wateroverlast

Vervolgens bepalen we of het verkeer hinder ervaart, door de formule van Pregmolato et al. (2017) toe te passen:

$$v(w) = 0.0009w^2 - 0.5529w + 86.9448$$

V is de mogelijke snelheid van een auto

W is de waterstand in millimeters

Daarna is er bepaald hoeveel verlies aan tijd in uren optreedt. Dit is bepaald door de mogelijke snelheid van een auto (v) af te trekken van de toegestane snelheid op het wegvak en vervolgens te vermenigvuldigen met de tijd dat het water op de weg staat.

Door het verlies aan tijd in uren te vermenigvuldigen met het aantal auto's dat binnen deze inundatietijd over de weg komt, kan worden berekend hoeveel uur er totaal verloren gaat. Er wordt aangenomen dat er gemiddeld 1,39 personen (CE Delft, 2014) in één auto zitten. Door het totale verlies aan tijd van alle auto's te vermenigvuldigen met 1,39, weten we hoeveel personen last

hebben van de wateroverlast. Dit aantal vermenigvuldigen we met 9,- (waarde van het verlies in tijd per persoon per uur) om de totale schade te berekenen.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Voor een aantal gemeenten is berekend hoeveel indirecte schade aan wegen optreedt bij een bui van 70 mm in 2 uur. In deze test-gemeenten trad geen schade op, waardoor is besloten de schade niet te berekenen voor alle gemeenten. Wel geeft het stappenplan de mogelijkheid om dit uit te rekenen.

Stappenplan

Om de schadebedragen voor secundaire wegen voor jouw gemeente te bepalen, kun je het stappenplan hieronder volgen. Gebruik daarbij de resultaten van de stresstest van je gemeente voor wateroverlast. Het is belangrijk dat je data hebt over hoe diep het water op straat is geweest en hoelang dat duurde. Daarnaast kun je bij de wegbeheerders vragen of er informatie is over het aantal voertuigen dat de weg gebruikt.

Stap 1: Wat zijn de waterstanden?

Voordat je de schade voor verkeer door water kunt bepalen, moet je eerst het volgende weten:

- Waar op straat staat water?
- Hoeveel water staat er op straat

Deze informatie kun je vinden in jouw stresstestkaart voor wateroverlast.

Stap 2: Heeft het verkeer hinder?

Daarna kijk je naar het verkeer: wanneer heeft het verkeer hinder door water op de weg? We weten dat auto's langzamer rijden als ze hinder hebben van water op de weg. Hoe meer water er op de weg is, hoe langzamer auto's kunnen rijden. We hebben hiervoor de volgende formule gebruikt:

$$v(w) = 0.0009w^2 - 0.5529w + 86.9448$$

V is de mogelijke snelheid van een auto

W is de waterstand in millimeters

Stap 3: Hoelang heeft het verkeer hinder?

Weet je op welke plekken verkeer hinder heeft van water op de weg? En wil je weten hoelang verkeer daar hinder van heeft? Dan moet je weten hoelang er water op de weg ligt. Hiervoor moet je hydraulische modellen gebruiken.

Stap 4: Hoeveel verkeer heeft hinder?

Heb je informatie over hoelang het verkeer hinder heeft gehad van water op de weg? Dan kun je gaan bepalen hoeveel verkeer hinder heeft. Daarvoor moeten we weten hoeveel voertuigen een weg gebruiken. Over het aantal voertuigen op regionale en lokale wegen is vaak weinig informatie openbaar beschikbaar. Je kunt deze informatie soms vinden in verkeersmodellen van gemeentes of provincies.

Stap 5: Hoeveel kost het?

In de laatste stap bereken je wat de geschatte schade is per persoon in euro's. We rekenen daarvoor eerst uit wat het verlies aan tijd is als gevolg van water op straat. Die tijd rekenen we aan het eind om naar euro's.

Verlies aan tijd = toegestane snelheid – mogelijke snelheid (als gevolg van water op straat)

*Totaal verlies aan tijd = Verlies aan tijd * aantal verhinderde auto's binnen inundatietijd*
*Verlies aan tijd totaal aantal personen = Totaal verlies aan tijd * Gemiddeld aantal personen in een auto*
*Schade = Verlies aan tijd totaal aantal personen * €9,-*

We rekenen € 9,- voor een uur aan tijdsverlies. Dat baseren we op de studie van Kouwenhoven e.a. (2014).

Bij voorkeur wordt dit doorgerekend voor meerdere buien met verschillende herhalingstijden.

Stap 6: Hoe groot is de kans op de bui in 2018 en in 2050?

Op basis van de herhalingstijd van de gebruikte buien wordt de verwachte jaarlijkse schade uitgerekend op basis van de integraal van de kosten voor de verschillende buien.
Anders gezegd: Risico (in €) in een bepaald jaar = Kans (herhalingstijd) x Gevolg (Schade bij een bepaalde bui).

De risico's (€) van de verschillende doorgerekende buien moeten bij elkaar opgeteld worden.
De herhalingstijden van de verschillende buien in 2018 en in 2050 zijn te vinden in [de neerslagstatistieken van 2019](#) die STOWA heeft opgesteld. Een grove aanname is dat de kans op een bui ten opzichte van 2018 in 2050 verdubbelt.

Extra schade 2018 – 2050 door klimaatverandering = (Risico 2050 – Risico 2018) x 16,5

Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = Risico 2018 x 33

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

7.4 Hagelschade (verzekerde hagelschade)

Tauw

Hagelbuien kunnen leiden tot forse schade. Met name bij extreme hagelbuien, zoals op 23 juni 2016 in het zuiden van het land, is de schade omvangrijk. Er treedt schade op aan huizen, bedrijfsgebouwen, maar bijvoorbeeld ook aan auto's. Een deel van deze schade is verzekerd. Het Verbond van Verzekeraars heeft in het rapport '[Hoofd boven water](#)' (2017) de kosten voor *verzekerde hagelschade* per jaar uitgewerkt. Deze methodiek houdt niet specifiek rekening met schade in de landbouw (schade aan fruitbomen). Dat is met de openbaar beschikbare informatie binnen dit project niet mogelijk. Dit is zowel gedaan voor de jaarlijkse kosten onder het huidige klimaat als de geprojecteerde kosten in het toekomstige klimaat van 2050. Daarbij heeft het Verbond van Verzekeraars op basis van een gesprek met het KNMI aangenomen dat in In het scenario met veel klimaatverandering (WH) de kans op hagelschade door klimaatverandering in 2050 verdubbeld is. We hebben de getallen uit dit rapport gebruikt voor het schatten van de hagelschade.

Welke methode hebben we gebruikt?

Binnen Nederland zijn er geen ruimtelijke verschillen aan te geven in de kans op hagel. Voor deze analyse veronderstellen we daarom dat elke plek in Nederland een gelijke kans heeft op een (extreme) hagelbui. Wat wel verschilt per gemeente is het verzekerde kapitaal. Het Verbond van Verzekeraars heeft de hagelschade uitgewerkt in vier type verzekeringen: brand particulier, brand zakelijk, motor casco particulier en motor casco zakelijk.

Om de schades door hagel voor deze vier type verzekeringen te vertalen naar kosten per gemeente, hebben we indicatoren gezocht die naar verwachting duidelijk verband houden met de verzekerde schade. In de tabel hieronder staat uitgewerkt welke indicatoren we voor de benadering gebruikt hebben en wat de achterliggende bestanden zijn.

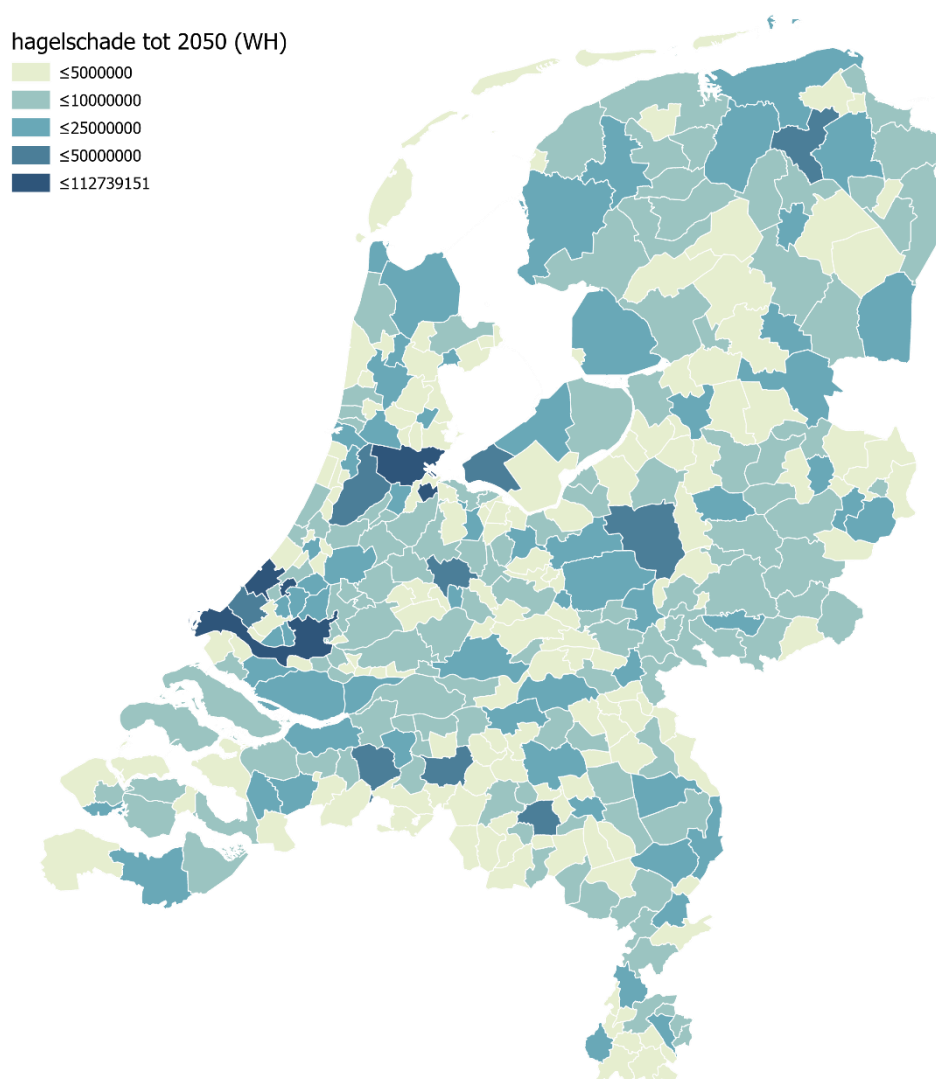
Tabel 11: Gehanteerde indicator en gebruikt bestand op de schades te verdelen over alle gemeenten

Type verzekering waarvoor hagelschade is gekwantificeerd (Verbond van Verzekeraars, 2017)	Brand particulier	Brand zakelijk	Motor casco particulier	Motor casco zakelijk
Schade per jaar zonder klimaatverandering (miljoen €)	65	57	45	9
Verwachte extra schade in 2050 door bij WH scenario (miljoen €)	65	57	45	9
Gehanteerde indicator voor verdeling kosten over de gemeenten	Aantal inwoners	Totale gesommeerde oppervlakte bebouwd gebied niet-wonen, inclusief glastuinbouw	Aantal auto's (particulier)	Aantal auto's (particulier)
Gebruikt Bestand	CBS Gemeente 2019	Bestand Bodemgebruik 2015 (klassen 21,22,23,24,50)	CBS Aantal particuliere auto's	CBS Aantal particuliere auto's

Op basis van het aantal inwoners, auto's en panden zonder woonfunctie volgt een schade per gemeente.

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Voorals de gemeenten met een groot oppervlakte bedrijventerreinen en glastuinbouw zijn extra kwetsbaar voor hagelschade. De verwachting is dus ook dat deze gemeenten hogere schades ervaren.



Figuur 18: Extra schade door hagel voor de periode 2018 - 2050 in het WH scenario

Stappenplan

Het is niet mogelijk om met lokale data een betere inschatting te maken. Er is geen betere lokale inschatting te maken op de kans op een hagelbui. Gedetailleerde verzekeringsdata zijn niet openbaar toegankelijk.

7.5 Schade aan auto's door wateroverlast

Tauw

Door wateroverlast kunnen auto's beschadigd raken. Dit komt door hoog water op de weg. Hoog water kan directe schade veroorzaken bij rijdende en bij geparkeerde auto's. Dat laatste komt het meeste voor en daarom hebben we alleen dat type schade meegenomen. Voor schade aan auto's zijn geen schades per gemeente berekend, maar met behulp van het stappenplan is dit wel te berekenen.

Welke methode hebben we gebruikt?

Geparkeerde auto's kunnen door water beschadigd raken als het water hoger komt dan de wielkast. Niet alle auto's raken dan beschadigd, maar het gebeurt wel steeds meer omdat in moderne auto's steeds vaker elektronische systemen zitten. Om de kans op schade door wateroverlast te berekenen gebruiken we de volgende gegevens en aannames:

- De wateroverlastkaarten uit de Klimaat-effectatlas. We kijken naar de schade bij buien van 35 mm, 70 mm en 140 mm in twee uur.
- De hoogte van de wielkast is gemiddeld 40 cm. Vanaf een waterdiepte van 40 cm kan de auto beschadigd raken. Met beschadigd bedoelen we hier 'total loss'.
- Om de schade per auto te berekenen gaan we uit van de waarde van een gemiddelde tweedehandsauto: € 15.000.-
- Met een GIS-analyse bepalen we de gemiddelde waterstand per parkeervak. Uit de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT) kunnen we afleiden hoeveel parkeervakken er in een gebied zijn.
- Parkeerplaatsen zijn niet altijd bezet. Helaas zijn er geen cijfers over de bezettingsgraad. Daarom doen we de globale aanname dat de parkeerplaatsen overdag niet bezet zijn en 's nachts allemaal. Het schadebedrag vermenigvuldigen we daarom met 0,5.

Wat zijn de uitkomsten van het onderzoek?

De schade aan auto's is doorgerekend voor enkele gemeenten. De schade aan auto's bleek relatief laag in verhouding tot de schade aan panden. Hierdoor is besloten om deze schade niet voor alle gemeenten uit te rekenen. Wel kan het stappenplan gevolgd worden, om tot een lokale inschatting te komen.

Welke typen schade hebben we *niet* berekend?

In dit onderzoek gaan we alleen uit van de schade aan stilstaande auto's. We hebben de volgende typen schade niet berekend:

- De schade aan rijdende auto's voor het verkeer:
Hevige regenbuien kunnen zorgen voor meer files en aanrijdingen. Gevolg van files en aanrijdingen is bijna altijd schade aan auto. In ernstige gevallen komt er ook letselschade bij van bestuurder en passagiers. De verzekeraar verzekert deze schade en die berekenen we daarom niet.
- De schade aan rijdende auto's zelf:
Door wateroverlast kan de motor kapotgaan. Maar dat kan alleen als de auto in waterdiepte heeft gereden die hoger is dan de luchtinlaat. We gaan ervan uit dat dit zelden gebeurt. Daarom hebben we deze schade niet berekend.

Verder belangrijk om te weten

In dit onderzoek hebben we niet overall rekening mee kunnen houden:

- Voor de berekening van het aantal parkeervakken in een gebied gaan we uit van de gemiddelde oppervlakte van een parkeerplaats. Dat doen we omdat grote parkeerplaatsen soms als 1 parkeervak zijn ingevoerd in de BGT. De gemiddelde

oppervlakte is 12m². We houden daarbij geen rekening met eventuele toegangswegen in de parkeervelden. Dat kunnen we niet doen, omdat er geen complete informatie beschikbaar is over de types parkeervakken.

- Het kan zijn dat de gemiddelde waarde een onderschatting geeft van het aantal parkeerplaatsen dat risico loopt. Want in de berekening gaan we uit van parkeerplaatsen met een gemiddelde waterdiepte van 40 cm of hoger. We houden hierbij geen rekening met het verschil van de waterstand binnen het gebied wat als parkeerplaats is opgenomen in de BGT. De ene parkeerplaats kan een grotere waterhoogte hebben dan de andere, bijvoorbeeld doordat die parkeerplaats een stuk lager ligt. Daarom is de statistiek per parkeerplaats eigenlijk ook belangrijk.

Stappenplan

Met de stappen hieronder kun lokaal tot een inschatting komen van de schade aan auto's door wateroverlast.

Stap 1: Bereken het aantal parkeerplaatsen waar schade kan optreden

Bereken voor alle vlakken die aangemerkt staan als parkeerplaats, de gemiddelde waterstand. Deel daarna het oppervlak van deze vlakken uit de BAG-kaart door het oppervlak van een gemiddelde parkeerplaats (12 m²).

Stap 2: Reken aantal parkeerplaatsen om naar schade aan auto's

We gaan ervan uit dat alleen boven een waterdiepte van 40 cm schade aan de auto optreedt. We beschouwen de auto dan als 'total loss'. Vermenigvuldig de vakken waar de waterdiepte hoger is dan 40 cm met de bezettingsgraad (50%) en de waarde per auto (15.000 euro).

Stap 3: Van schade per bui naar totale schade t/m 2050

Op basis van de herhalingstijd van de gebruikte buien wordt de verwachte jaarlijkse schade uitgerekend op basis van de integraal van de kosten voor de verschillende buien.

Anders gezegd: Risico (in €) in een bepaald jaar = Kans (herhalingstijd) x Gevolg (Schade bij een bepaalde bui).

De risico's (€) van de verschillende doorgerekende buien moeten bij elkaar opgeteld worden.

De herhalingstijden van de verschillende buien in 2018 en in 2050 zijn te vinden in [de neerslagstatistieken van 2019](#) die STOWA heeft opgesteld. Een grove aanname is dat de kans op een bui ten opzichte van 2018 in 2050 verdubbelt.

Extra schade 2018 – 2050 door klimaatverandering = (Risico 2050 – Risico 2018) x 16,5

Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = Risico 2018 x 33

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

7.6 Infecties door water op straat

Tauw

Naar infecties door water op straat is in het verleden onderzoek gedaan. Deze onderzoeken noemen geen schadebedragen voor infecties door water op straat. Daarom hebben we hier nu verkennend onderzoek naar gedaan. We hebben vooral gekeken naar de schade- en kans componenten, hoe die veranderen in de toekomst en of er behoefte is aan vervolgonderzoek.

Welke methode hebben we gebruikt?

We hebben het volgende gedaan:

- We hebben literatuurstudie gedaan naar de artikelen van Heleen de Man en Marie-Claire ten Veldhuis.
- We hebben interviews gehouden met GGD, RIONED, Marie-Claire ten Veldhuis (GGD) en Heleen de Man (RIVM) over het bepalen van gezondheidsschade naar aanleiding van infecties door water op straat.
- En we hebben een heel grove schatting gemaakt van het aantal gezondheidsklachten dat optreedt door cijfers van gezondheidsklachten door contact met water uit te rekenen (RIVM rapport).

Wat zijn de belangrijkste resultaten?

Uit de onderzoeken bleek het volgende:

- In de onderzoeken van Ten Veldhuis en De Man zijn infectierisico's uitgerekend met een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse (QMRA). Deze analyse kan uitrekenen wat de infectierisico's zijn voor mensen die blootgesteld worden aan water op straat. Dit risico is ongeveer 40 keer zo hoog als zwemmen in net- goedgekeurd zwemwater.
- De Man concludeert in haar artikel uit 2015 dat 44% van de mensen ziekteklachten (huidproblemen, maag- en/of darmproblemen, griepachtige klachten) heeft als ze in aanraking zijn geweest met water op straat. 16% van de mensen die in aanraking zijn geweest met water op straat bezoekt ook de huisarts.
- De Man heeft onderscheid gemaakt in aanraking van water door natte handen, aanraking van water door fietsen of lopen door de het water, aanraking met water door naderhand opruimen en schoonmaken en spelen met/in het water.
- De Man concludeerde in 2014 dat 20 tot 30% van de kinderen die in regenwater op straat spelen ziek wordt.
- Een grove inschatting voor het aantal gezondheidsklachten door water op straat is gemaakt door het aantal gezondheidsklachten van zwemwater uit de jaren 2014-2016 te nemen (300 per jaar) en gelijk te stellen aan het aantal gezondheidsklachten door water op straat bij een 1:10 jaar neerslaggebeurtenis. Hieruit komt dat de schade voor heel Nederland laag is in verhouding tot de schade aan panden. Hierdoor is besloten om de schade voor nu niet verder te specificeren.

Wat moet verder onderzocht worden?

- We weten nog niet hoeveel slechter een gemengd rioolstelsel is voor de kwaliteit van het uittreidend rioolwater dan een gescheiden rioolstelsel. Om dat te vergelijken, moeten we meer informatie hebben over de duur, omvang en frequentie van infecties door water op straat bij beide soorten rioolstelsel.
- Om uiteindelijk tot schadebedragen per gemeente te komen, missen we informatie over hoeveel mensen in aanraking komt met water op straat in het huidige klimaat.
- Er zijn meer data nodig van gezondheidsklachten als gevolg van water op straat. Het onderzoek van Heleen de Man uit 2015 is een eerste onderzoek wat dit heeft onderzocht. Er is echter behoefte aan meer inzicht in de ziektebeelden van de mensen. Hiervoor is uitgebreid onderzoek nodig zoals De Man dat heeft aangepakt. Data is niet direct te

herleiden van de data van een huisarts omdat gezondheidsklachten niet altijd worden gerelateerd aan het water op straat, of omdat de huisarts deze registraties niet doorvoert naar de GGD. Alleen tijdens grote incidenten waarbij een grote groep mensen wordt blootgesteld aan vervuild water wordt dit geregistreerd. Dat gebeurt vaak tijdens grote evenementen, zoals cityswim of een festival vlakbij water. Deze gebeurtenissen staan alleen niet in relatie tot water op straat gebeurtenissen.

Wat moet er in de praktijk gebeuren?

Gemeenten ontwerpen het rioolstelsel nu op een bui van 1x in de 2 jaar. Dan zou er geen vervuild water op straat mogen staan. In alle situaties waarbij de bui heviger wordt, is het van belang om te weten waar er vervuild water op straat kan komen te staan. We adviseren de gemeenten om in samenwerking met de GGD protocollen te ontwikkelen en voorlichting te geven over de gezondheidsrisico's bij water op straat. In een aantal gemeenten is dit al bezig door bijvoorbeeld geen speeltoestellen in wadi's te plaatsen. Zie bijvoorbeeld de 'waterkwaliteitschecker' van het RIVM.

Hoe kunnen we gezondheidsschade uitdrukken?

Voor de Klimaatschadeschatter drukken we de schade uit in euro's. Maar het bedrag is zeer laag vergeleken met andere schadeposten, zoals de schade aan panden door wateroverlast. Tegelijk zou je kunnen beweren dat gezondheidsschade ernstiger is dan economische schade, omdat iemand ziek kan worden. Uit het onderzoek van De Man blijkt dat 44% van de mensen gezondheidsklachten krijgt bij aanraking met vervuild water op straat.

Stappenplan

Er is weinig bekend over het aantal mensen dat infecties krijgt door contact met vervuild water op straat. Daarom kunnen we alleen een zeer grove inschatting doen. Ter vergelijking is een inschatting gemaakt van het aantal mensen dat gezondheidsschade oploopt door recreatief zwemmen. Hier heeft het RIVM data van voor de jaren 2014-2016.

Stap 1: Bepaal het aantal gezondheidsklachten voor zwemmen in zwemwater

Op basis van onderzoek van het RIVM blijkt dat er in de jaren 2014-2016 gemiddeld 300 patiënten gezondheidsklachten hebben opgelopen door zwemmen in zwemwater. Dit geldt niet alleen voor meren, maar ook voor zwembaden. Hierbij is de kwaliteit van het oppervlakte niet bekend. Voor deze benadering gaan we ervanuit dat de kwaliteit van het oppervlaktewater net voldoet aan de eisen voor zwemwater.

Stap 2: Reken om naar mogelijke schade door aanraking met water op straat

Heleen de Man schat in haar artikel dat het risico op ziek worden na contact met water op straat ongeveer 40 keer zo hoog is als na zwemmen in schoon zwemwater. Verder gaat ze ervan uit dat mensen gemiddeld 4 keer per jaar in zwemwater zwemmen en 1 keer per 10 jaar in contact komen met water op straat. **Op basis hiervan** komen we op een risico dat gelijk is aan het risico van zwemmen in net goedgekeurd zwemwater.

aantal klachten water op straat situatie 1:10 jaar = 300 heel Nederland

Stap 3: Reken het aantal klachten om naar schade

We nemen aan dat er per persoon met gezondheidsklachten €1000 euro aan schade is. Dit getal baseren we op 2 weken geen inkomen.

Kosten per klacht = 1000 euro

Stap 4: Van schade per bui naar totale schade t/m 2050

De schade voor 1:10 jaar staat dus gelijk aan 300 patiënten. De ontwerpregel voor gemeenten is vaak dat bij bui 8 (T=2) geen uittredend rioolwater op mag treden. Voor 1:2 jaar is dus de schade 0 voor gezondheid, omdat mensen dan niet in aanraking kunnen komen met het rioolwater. Vanaf bui 9 (T=5) kan wel uittredend rioolwater optreden. De kans om in contact te komen met rioolwater neemt toe als de bui heviger wordt. Voor een 1:100 jaar situatie gaan we ervan uit dat het aantal gezondheidsklachten met een factor 10 zal toenemen.

aantal klachten water op straat situatie 1:2 jaar = 0

aantal klachten water op straat situatie 1:100 jaar = 3000

Op basis van de herhalingstijd van de gebruikte buien wordt de verwachte jaarlijkse schade uitgerekend op basis van de integraal van de kosten voor de verschillende buien.

Anders gezegd: Risico (in €) in een bepaald jaar = Kans (herhalingstijd) x Gevolg (Schade bij een bepaalde bui).

De risico's (€) van de verschillende doorgerekende buien moeten bij elkaar opgeteld worden.

De herhalingstijden van de verschillende buien in 2018 en in 2050 zijn te vinden in [de neerslagstatistieken van 2019](#) die STOWA heeft opgesteld. Een grove aanname is dat de kans op een bui ten opzichte van 2018 in 2050 verdubbelt.

Extra schade 2018 – 2050 door klimaatverandering = (Risico 2050 – Risico 2018) x 16,5

Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = Risico 2018 x 33

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

7.7 Schade aan elektriciteitskastjes

Tauw

Netbeheerders rapporteren elk jaar de betrouwbaarheid van het netwerk. Hieruit blijkt dat de schade aan elektriciteitskastjes door wateroverlast niet vaak voorkomt. Maar als er toch schade is, ten gevolge van het uitvallen van het elektriciteitsnetwerk is die ook erg groot. Daarom hebben we verkend wat de schadekosten zijn als een elektriciteitshuisje overstroomt. Het onderzoek is gefocust rondom de middenspanning en laagspanning netwerken.

Er zijn 2 soorten elektriciteitskastjes:

- De transformatorhuisjes. Deze zetten middenspanning om in laagspanning. Hier zijn zo'n 200 gebruikers op aangesloten.
- De laagspanningskastjes of stroomtoevoerpunten. Deze verdelen de laagspanning naar de gebruikers. Hier zijn 100 tot 200 gebruikers op aangesloten.

Conclusie

We denken aan de hand van verschillende pilots in onder andere Amsterdam dat de directe waterschade aan het elektriciteitsnetwerk klein zal zijn. En we kunnen niet inschatten hoe hoog de indirecte schade zal zijn als het elektriciteitsnetwerk uitvalt. Daarom kunnen we geen bedragen in de klimaatschadeschatter opnemen over schade aan elektriciteitskastjes.

Hoe hebben we dit onderzocht?

We hebben het volgende gedaan:

- We hebben een onderzoeker geïnterviewd over het ondergronds brengen van de transformatorhuisjes en stroomtoevoerpunten.
- We hebben de assetmanager van Alliander geïnterviewd.
- We hebben het [rapport van Movares](#) over uitval van het elektriciteitsnetwerk gebruikt om klimaatinvloeden te definiëren.

Wat waren de belangrijkste uitkomsten?

Dit waren de belangrijkste uitkomsten:

- De directe schade lijkt niet groot te zijn. De elektriciteitskastjes kunnen een waterdiepte aan van 80 tot 100 cm voordat de elektriciteitskastjes uitvallen.
- Een elektriciteitskastje valt uit doordat het destructieve stromen te allen tijde zal voorkomen (aardlekschakelaar principe). Om het elektriciteitskastje weer in werking te krijgen zal een monteur 1 dag bezig zijn om een kastje. Dat komt uit op ongeveer € 1.000,- per dag per monteur.
- De netbeheerder heeft geen leveringsverplichting. Daardoor kan het netwerk uitvallen, en daarmee moeten gebruikers die erg afhankelijk zijn van stroom zelf voor een back-up moeten zorgen. Maar het blijft dan de vraag of die back-up dan geen schade ondervindt van de waterstand.
- De indirecte schade kunnen we niet achterhalen. Dat komt onder andere doordat er heel verschillende klanten achter kunnen zitten. Bijvoorbeeld bij een bedrijventerrein is de schade veel groter dan bij een paar straten. Het is wel zo dat
- Hoe lang de elektriciteit uitvalt, hangt af van hoe lang het hoge water er staat. Pas als het water weg is, kan een monteur de uitval oplossen. Hij moet er dan heen, hij kan het niet op afstand repareren. Dat gebeurt dan meestal binnen 4 uur. Als het elektriciteitsnetwerk langer dan 4 uur uitvalt, moet Alliander een schadevergoeding betalen aan de gebruikers.

Stappenplan

Voor de schade aan elektriciteitskastjes kun je als gemeente een grove schatting maken. Om zo'n schatting te maken, moet je het volgende weten:

- Wat is het geschatte aantal en locatie van de laagspannings- en middenspanningskastjes in de gemeente?
- Bij welk percentage verharding staat het water hoger dan 80 cm? (aanname drempelwaarde)
- Hoeveel panden zijn er in de gemeente?

Hieronder lees je welke stappen nodig zijn om tot zo'n schatting te komen.

Stap 1: Bepaal aantal en locatie van elektriciteitskastjes in de gemeente

Precies: Bepaal het aantal en de locatie van laagspannings- en middenspanningskastjes in de gemeente.

Grof: als je de locatie van de kastjes niet weet kan je ook een grove inschatting doen. Op basis van een overleg met Alliander gaan we ervan uit dat er 100 panden zijn achter een laagspanningskastje en 250 achter een middenspanningskastje. Het aantal kastjes is het aantal panden in de gemeente gedeeld door het aantal gebruikers per kastje:

aantal laagspanningskastjes = aantal panden in gemeente/100

aantal middenspanningskastjes = aantal panden in gemeente/250

Stap 2: Hoeveel elektriciteitskastjes vallen uit?

Precies: Gebruik een waterdieptekaart van een kortdurende bui. Bepaal met een GIS-analyse of er rond de kastjes een waterdiepte staan van 80 cm of meer. Deze drempelwaarde nemen we aan op basis van overleg met Alliander.

Grof: Zonder de locatie van de kastjes te weten kan nog een grove inschatting gemaakt worden. Daarvoor gaan we voor het aantal kapotte kastjes door wateroverlast uit van het percentage wegoppervlak met water dat hoger staat dan 80 cm. Dit wordt berekend op basis van een GIS-analyse. Het percentage wegoppervlak met water dat hoger staat dan 80 cm moet je dan vermenigvuldigen met het totaal aantal kastjes in de gemeente:

*aantal kastjes dat uitvalt = % wegoppervlak > 80cm water * (aantal laagspanningskastjes + aantal middenspanningskastjes)*

Stap 3: Van het aantal uitgevallen kastjes naar schadekosten

De kosten per kastje baseren we op een monteur die 1 dag werk heeft om het kastje te repareren. Dat is € 1000 per kastje:

*Kosten = aantal kastjes dat uitvalt * € 1000*

Stap 4: Van schade per bui naar totale schade t/m 2050

Op basis van de herhalingstijd van de gebruikte buien wordt de verwachte jaarlijkse schade uitgerekend op basis van de integraal van de kosten voor de verschillende buien.

Anders gezegd: Risico (in €) in een bepaald jaar = Kans (herhalingstijd) x Gevolg (Schade bij een bepaalde bui).

De risico's (€) van de verschillende doorgerekende buien moeten bij elkaar opgeteld worden.

De herhalingstijden van de verschillende buien in 2018 en in 2050 zijn te vinden in [de neerslagstatistieken van 2019](#) die STOWA heeft opgesteld. Een grove aanname is dat de kans op een bui ten opzichte van 2018 in 2050 verdubbelt.

Extra schade 2018 – 2050 door klimaatverandering = (Risico 2050 – Risico 2018) x 16,5

Schade 2018 – 2050 zonder klimaatverandering = Risico 2018 x 33

33 = Het aantal jaar in de periode 2018 – 2050

16,5 = De helft van het aantal jaar in de periode 2018 – 2050, omdat wordt verondersteld dat de schade lineair toeneemt.

8 Inzicht in beperking van gevolgen overstroming door maatregelen

HKV en Deltares

Wat levert het op als je maatregelen neemt die de gevolgen van een overstroming beperken? Hoe sterk verminder je de schade? In de Klimaatschadeschatter laten we zien wat de effecten zijn van maatregelen die schade door een overstroming tot 1 meter hoog voorkomen. Daarmee willen we overheden en professionals ondersteunen bij het maken van ruimtelijke afwegingen. Hieronder lees je welke methode we hebben gebruikt en wat je met de resultaten kunt. Op pagina ... vind je een stappenplan waarmee je inzicht kunt krijgen in het effect van maatregelen voor je eigen buurt.

Hoe zijn de baten van maatregelen bepaald?

Bij de inschatting gaan we uit van de aanleg van een 'modelwijk'. Een modelwijk bestaat uit 100 woningen met een gemiddeld vloeroppervlak van 125m². Om de baten te bepalen, vergelijken we de kosten van een overstroming in een modelwijk zonder maatregelen met de kosten van een overstroming in een modelwijk mét maatregelen. We gaan daarbij uit van de 'modelmaatregel' om de woningen 1 meter integraal ophogen. Verder gaan we ervan uit dat de maatregelen bij een overstroming tot 1 meter hoog niet tot schade leiden. Vanaf 1 meter leidt de overstroming wel tot schade en geldt de normale schadefunctie voor bebouwing uit de landelijke [Schade- en Slachtoffer Module \(SSM-2017\)](#).

Per CBS-buurt drukken we de baten uit op twee manieren:

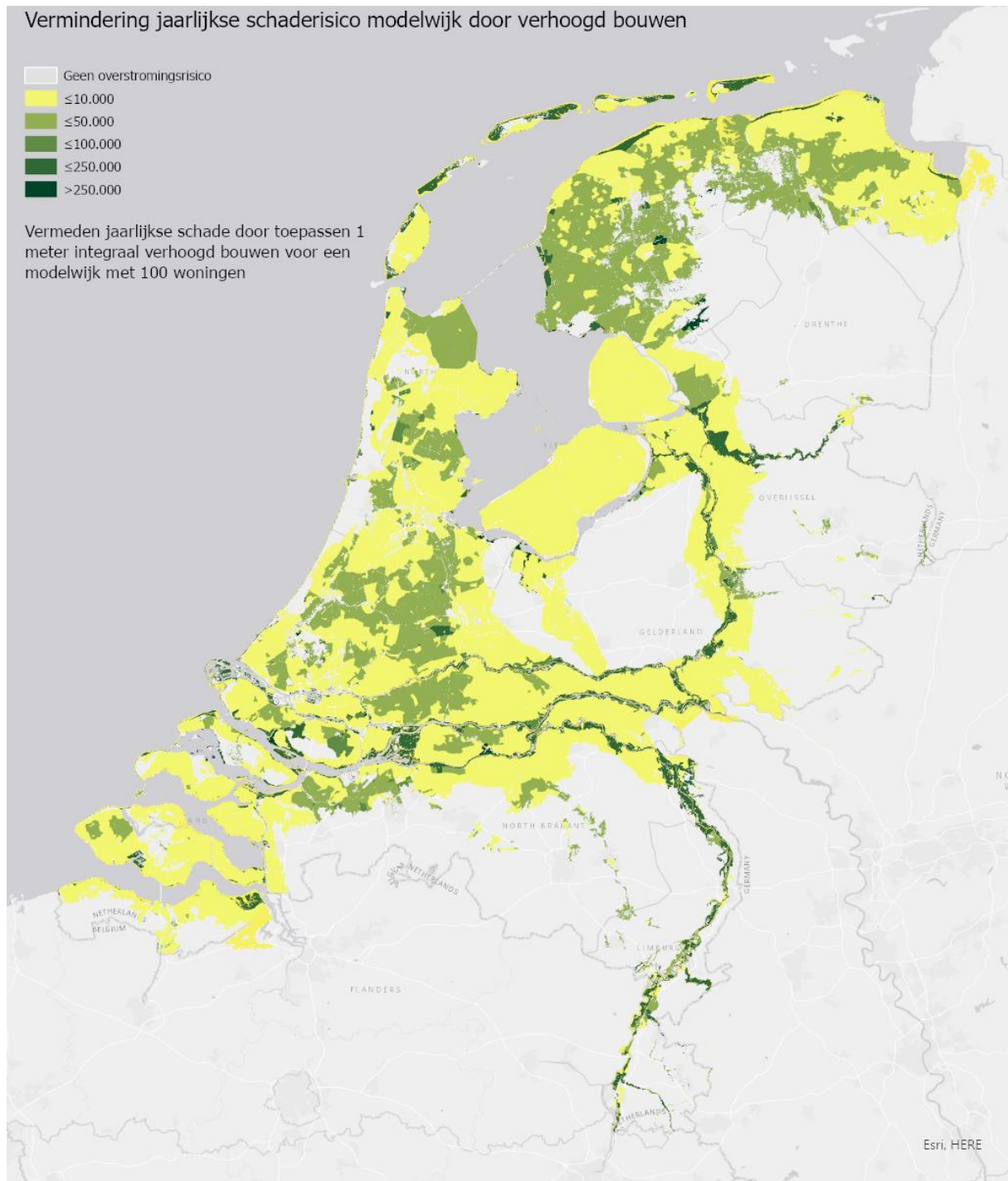
- De vermindering van het schaderisico in euro's voor elke klasse overstroming. We gaan uit van vier klassen van mogelijke overstromingen: 0 – 20 cm, 20 – 50 cm, 50 – 200 cm en > 200 cm. Per buurt laten we ook zien wat de kans is op een overstroming met deze klassen.
- De totale vermindering van het schaderisico (gebaseerd op kans x gevolg) in euro's voor alle overstromingen voor de situatie met maatregelen. Daarvoor hebben we het totale schaderisico voor de situatie met maatregelen afgetrokken van het schaderisico voor de situatie zonder maatregelen. Zijn de jaarlijkse kosten van de investering in maatregelen lager dan dit bedrag? Dan loont het om in de maatregel te investeren.

Welke schades laten we zien?

Per buurt kun je zien wat de berekende baten van de maatregel zijn in de vorm van de vermindering van het schaderisico. Het verschil in schade na een overstroming is bepaald door de situatie zonder maatregelen te vergelijken met de situatie mét maatregelen. De kans op een overstroming in een buurt is bepaald op basis van de plaatsgebonden overstromingskanskaarten uit de Klimateffectatlas voor 2050. Deze methode voor het bepalen van de overstromingskans per buurt lichten we op pagina 59 verder toe. De volgende resultaten tonen we per buurt:

- De jaarlijkse kans op de verschillende overstromingsdieptes (0-20 cm; 20-50cm, 50-200cm, >200cm) volgens de veiligheidsniveaus van 2050.
- De vermindering van het schaderisico in euro's per jaar per buurt, zie de kaart hieronder. Om tot een inschatting van de verwachte jaarlijkse schade te komen is er een aanname gedaan over de verwachte levensduur van de woningen. Deze is voor deze analyse op 100 jaar gezet. De totale vermeden schade gedurende de levensduur is interessant als je een businesscase opstelt met een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Dit getal kun je vergelijken met een eenmalige investering die nu wordt gedaan.

- Informatie over de schade die door de maatregel wordt voorkomen per overstromingsdiepte. Deze informatie is vooral handig als je wilt weten bij welke terugkeertijden van overstromingsdieptes de baten worden behaald. Ook kun je deze informatie gebruiken voor afwegingen waarin de kosteneffectiviteit van maatregelen wordt gekoppeld aan terugkeertijden van de overstromingsdiepte. Dat gebeurt bijvoorbeeld op plekken waar alleen kleine overstromingsdieptes voorkomen. Voorkomt de maatregel daar bijvoorbeeld de meeste schade bij vaker voorkomende ondiepe overstromingen of toch bij zeldzame diepe overstromingen?



Figuur 19: Kaart vermindering schaderisico per buurt bij 1 meter verhoogd bouwen. De andere resultaten worden in de KSS zichtbaar als je op de buurt klikt.

Wat kun je met de resultaten?

Samen met de inzichten over de plaatsgebonden overstromingskaart voor 2050 geven de ingeschatte baten een inzicht in het effect van 1 meter integraal ophogen. Dit inzicht is een eerste stap. Bij grotere of kleinere buurten kun je de uitkomst bijstellen via een factor die aangeeft hoeveel groter of kleiner de wijk is. Hebben maatregelen een ander effect? Dan is er een aanvullende analyse nodig. Maar ook dan kunnen experts deze inzichten uit de Klimaatschadeschatter gebruiken om te beoordelen hoe kansrijk het is om bij nieuwe ontwikkelingen de gevolgen van een overstroming te beperken met maatregelen. Ook voor bestaande ontwikkelingen kunnen de inzichten een indicatie zijn voor het mogelijke effect van maatregelen. Al zal de praktische uitvoering nu veel lastiger zijn of zijn andere maatregelen aantrekkelijker, zoals tijdelijke waterkeringen met een bepaalde hoogte. Op pagina 56 vind je een stappenplan waarmee je inzicht kunt krijgen in het effect van maatregelen voor je eigen buurt.

Welke onzekerheden zijn er?

De resultaten bevatten de volgende onzekerheden:

- De resultaten zijn gebaseerd op de beschikbare overstromingsscenario's uit LIWO en op de kans dat een waterkering faalt. Voor onbeschermd gebied zijn de resultaten gebaseerd op de kans op hoogwater. Kansen en scenario's bevatten altijd een onzekerheidsfactor.
- De resultaten per buurt zijn gepresenteerd op basis van de mediaan, waardoor de details zijn weggevallen. Maar die onzekerheid kun je weghalen door een detailanalyse te maken, bijvoorbeeld met [mijnwaterrisicoprofiel](#).
- De maatregel en de modelwijk zijn slechts voorbeelden. Deze geven een eerste beeld van de mogelijke baten. Je kunt ze ook gebruiken als de maatregel of ontwikkeling afwijkt. Ze zijn vooral nuttig als eerste stap om te bepalen wat het overstromingsrisico is en of het zinvol is om na te denken over maatregelen.

Welke methode(s) hebben we gebruikt?

Hoe is de overstromingskans bepaald?

De kans op een overstroming is bepaald per buurt. Die hebben we bepaald volgens de aanpak van '[mijnwaterrisicoprofiel](#)'. Het gaat hierbij niet om de kans op falen van een waterkering, maar de kans dat een buurt kan overstromen. Naast de faalkans houden we dus ook rekening met het overstromingspatroon. Bij deze aanpak zijn we uitgegaan van de plaatsgebonden overstromingskans uit de Klimateffectatlas met de vier klassen 0, 20, 50 en 200 cm voor 2050, die gebaseerd is op de nieuwste overstromingsscenario's van het [LIWO](#) (januari 2020). Het gaat hierbij om overstromingen vanuit het primaire én regionale systeem, en ook om overstromingen in buitendijks gebied. Overstromingen door extreme hoosbuien zijn niet meegerekend. De plaatsgebonden overstromingskans van elke klasse hebben we bepaald door voor alle mogelijke scenario's die leiden tot een overstroming van deze buurt, de kans op dit scenario te combineren met de waterdieptes uit een van de vier klassen. We zijn bij het selecteren van de waterdieptes uitgegaan van de middelste waarde: die noemen we de mediaan. Hoe meer hoogteverschillen er in een buurt zijn, hoe meer de mogelijke dieptes van de mediaan zullen afwijken.

Hoe hebben we de schade door overstromingen berekend?

We hebben ons bij de berekening van schade door overstromingen beperkt tot de schade aan woningen. Binnen een wijk zijn er ook andere functies, zoals wegen en groen. Maar de schade aan wegen en groen is miniem vergeleken met die aan woningen. De schade aan woningen bestaat uit 'opstalschade' en 'inboedelschade'. Deze schadefuncties zijn gebaseerd op [SSM2017](#), het schade- en slachtoffermodel voor overstromingen van Rijkswaterstaat.

Naast woningen kunnen in een buurt ook winkels, restaurants, kinderopvang en scholen staan. Deze zijn nu niet verwerkt in de resultaten. De schade aan andere panden dan woningen, kun je verwerken via een factor op de schade en de baten. Dat kan op basis van de verhouding van de totale schade ten opzichte van de modelwijk van 100 woningen.

De schadebedragen geven niet de marktwaarde weer van de schade aan een pand, maar de vervangingswaarde. In de tabellen hieronder staan de uitgangspunten van de berekening. De schades in tabel 13 geven de eventschade bij verschillende overstromingsdieptes weer.

Tabel 12: Schadekentallen woning, prijspeil SSM 2017.

gegevens per woning	opstal	inboedel
vloeroppervlak	125 m2	-
max. directe schade	125.000 euro	70.000 euro

Tabel 13: Eventschade overstrooming Modelwijk, prijspeil SSM 2017.

Schade zonder maatregelen (Euro)				Schade waarbij schade voor waterdiepte tot 1 meter wordt voorkomen (Euro)		
waterdiepte	Opstal-schade	Inboedel-schade	Totaal	Opstal-schade	Inboedel-schade	Totaal
0 - 20 cm (10 cm gemiddeld)	62.500	315.000	377.500	0	0	0
20 - 50 cm (35 cm gemiddeld)	218.750	1.102.500	1.321.250	0	0	0
50 - 200 cm (125 cm gemiddeld)	781.250	3.237.500	4.018.750	156.250	787.500	943.750
> 200 cm (2 meter)	1.250.000	3.500.000	4.750.000	625.000	3.150.000	3.775.000

Wat zijn de formules?

De berekende resultaten zijn gebaseerd op de volgende formules:

- Het schaderisico is bepaald op basis van kans x gevolg, uitgedrukt in € per jaar.
- De contante waarde is gebaseerd op de verwachtingswaarde van het schaderisico in 2050, waarbij we ervan uitgaan dat alle keringen voldoen aan de norm. Het verschil in contante waarde tussen de situatie met en zonder maatregelen is het bedrag dat nu eenmalig uitgegeven kan worden om de uiteindelijke baten minimaal zo hoog te krijgen als de kosten. We gaan daarbij uit van een tijdshorizon van 100 jaar, omdat de meeste woningen langer dan 50 jaar staan. Er is geen discontovoet toegepast in deze analyse. Dat betekent dat toekomstige kosten en baten even zwaar meetellen als huidige kosten en baten.

Stappenplan

Wil je voor jouw buurt onderzoeken of het effect heeft om de gevolgen van overstromingen te beperken met maatregelen? Dan adviseren we om daarbij de volgende stappen te nemen:

1. Bepaal eerst of de buurt overstromingsgevoelig is. Dat kun je doen op basis van de maximale waterdieptekaart. Die vind je op de [Klimaat-effectatlas](#) of op [overstroomik.nl](#). Deze gevoeligheid zegt niets over hoe vaak een overstroming voorkomt.
2. Is de buurt overstromingsgevoelig? Bepaal dan de kans op een overstroming. Dat doe je met de plaatsgebonden overstromingskans voor een overstroming van 0, 20, 50 en 200cm. Check hierbij ook hoe sterk de hoogteverschillen zijn in deze buurt. Bij veel variatie zal de spreiding rondom de mediaan groter zijn. Dan is het raadzaam om een detailanalyse te maken met een overstromingsrisicoprofiel, zoals [mijnwaterrisicoprofiel](#).
3. Nadat je de kans op een overstroming hebt bepaald, zijn er twee mogelijke uitkomsten:
 - a. De kans en gevolgen zijn acceptabel. Dan accepteer je het risico en hoef je geen onderzoek te doen naar verhoogd bouwen. We raden wel aan om alle betrokkenen bewust te maken van de risico's, zodat ze er eventueel zelf voor kunnen kiezen om maatregelen te nemen.
 - b. De kans en gevolgen zijn niet acceptabel. Dan is het nodig om te onderzoeken met welke maatregelen je de gevolgen van een overstroming kunt beperken.
4. Overweeg je om maatregelen te nemen? Dan adviseren we om te werken van grof naar fijn:
 - a. Verken eerst de contouren van een businesscase. Wegen de kosten van maatregelen op tegen de baten, en wat is het mogelijke budget?
 - b. Verken de mogelijkheid om mee te koppelen met andere ontwikkelingen. Moet bijvoorbeeld ergens de bodem toch al worden opgehoogd door verontreinigingen?
 - c. Als er veel hoogteverschillen zijn in de buurt, werk dan detailanalyses uit. Pas bijvoorbeeld overstromingsrisicoprofielen en waterrisicodiagrammen toe om expliciet te maken welke combinaties van kans en gevolg acceptabel zijn. Bepaal zo de randvoorwaarden voor een ruimtelijke ontwerp.

Referenties

- Born, G.J. van den, Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B., Bommel, B. van, Sluis, S. van der, (2016). Dalende bodems , stijgende kosten. Den Haag.
- CE Delft (2014). STREAM personenvervoer 2014
- Daanen, H. A. M., Simons, M., & Janssen, S. A. (2010). De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. Soesterberg: TNO.
- Desaigues, B., Ami, D., Bartczak, A., Braun-Kohlová, M., Chilton, S., Czajkowski, M., & Kaderjak, P. (2011). Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Ecological indicators*, 11(3), 902-910.
- F3O, (2014). Guideline for investigation and assessment of wooden pile foundations under buildings.
- Green, H. K., Edeghere, O., Elliot, A. J., Cox, I. J., Morbey, R., Pebody, R., et al. (2018). Google search patterns monitoring the daily health impact of heatwaves in England: How do the findings compare to established syndromic surveillance systems from 2013 to 2017? *Environ Res*, 166, 707-712.
- Gronlund, C. J., Sheppard, L., Adar, S. D., O'Neill, M. S., Auchincloss, A., Madrigano, J., et al. (2018). Vulnerability to the Cardiovascular Effects of Ambient Heat in Six US Cities: Results from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Epidemiology*, 29(6), 756-764.
- Hoes, O., Nelen, F., Leeuwen, van E. (2013). Waterschadeschatter (WSS) Gebruikershandleiding. STOWA, 2013-11. <https://edepot.wur.nl/258344>
- Hoogvliet, M., Buma, J., Oostrom, N. Van, Broelsma, R., Filatova, T., Verheijen, J., 2012. Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied.
- Hurley, F., Hunt, A., Cowie, H., Holland, M., Miller, B., Pye, S., & Watkiss, P. (2005). Service Contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the clean air for Europe (CAFE) programme. Food and Rural Affairs.
- Huynen, M. M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., & Kunst, A. E. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental health perspectives*, 109(5), 463.
- Karlsson, M., & Ziebarth, N. R. (2018). Population health effects and health-related costs of extreme temperatures: Comprehensive evidence from Germany. *Journal of Environmental Economics and Management*, 91, 93-117.
- KNMI (2018), De droogte van 2018; Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort.
- Kovats, R. S., & Kristie, L. E. (2006). Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health*, 16(6), 592-599.
- Kouwenhoven, M., de Jong, G. C., Koster, P., van den Berg, V. A., Verhoef, E. T., Bates, J., Warffemius, P. M. (2014). New values of time and reliability in passenger transport in The Netherlands.
- Leusink, E., (2018). Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland.

Man, de H. et. al. (2019). Gastrointestinal, influenza-like illness and dermatological complaints following exposure to floodwater: a cross-sectional survey in The Netherlands. Cambridge University Press 2015.

Peduto, D., Korff, M., Nicodemo, G., Marchese, A., Ferlisi, S., (2019). Empirical fragility curves for settlement-affected buildings: Analysis of different intensity parameters for seven hundred masonry buildings in The Netherlands. *Soils Found.* 59, 380–397.
<https://doi.org/10.1016/J.SANDF.2018.12.009>

Pleumeekers, O., Esse, van W., Kluck, J., Geisler, L., Dekker, G., Nootenboom, T. (2019). Vergelijking van methodes van schatten schade wateroverlast, Pilot Amsterdam West. STOWA

Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S. M., Dawson, R. J. (2017). The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function.

Schets, F.M., Roda Husman, de A.M. (2017). Gezondheidsklachten door recreatiewater in de zomers van 2014, 2015 en 2016. RIVM. <https://www.rivm.nl/gezondheidsklachten-door-recreatiewater-in-zomers-van-2014-2015-en-2016-vooral-veel-kinderen-met>

Slager, K. (2018). Overstromingsrisico's door intense neerslag. Ten behoeve van de voorlopige risicobeoordeling ikv EU-Richtlijn Overstromingsrisico's. Deltares.

Smith, S., Elliot, A. J., Hajat, S., Bone, A., Bates, C., Smith, G. E., et al. (2016). The Impact of Heatwaves on Community Morbidity and Healthcare Usage: A Retrospective Observational Study Using Real-Time Syndromic Surveillance. *Int J Environ Res Public Health*, 13(1).

STOWA, RIONED, (2014). Water in de openbare ruimte heeft risico's voor de gezondheid.
<https://edepot.wur.nl/309561>

Veldhuis, ten J.A.E. et al. (2010). Microbial risks associated with exposure to pathogens in contaminated urban flood water. *Water research* 44 (2010).

Verbond van Verzekeraars (2017) Hoofd boven water, Issuecommissie klimaat.

Wosten, J. H. M., de Vries, F., Hoogland, T., Massop, H. T. L., Veldhuizen, A. A., Vroon, H. R. J., ... & Bolman, A. (2013). BOFEK2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland (No. 2387). Alterra.