

WHITE PAPER DOOR:
ELWIN LEUSINK, SENIOR ADVISEUR KLIMAATADAPTATIE

NAAR EEN KOSTENEFFECTIEVE AANPAK VAN KLIMAATADAPTATIE IN NEDERLAND



DE RESULTATEN VAN ONS
ONDERZOEK LATEN ZIEN
DAT ER LOKAAL MEER
AANDACHT NODIG IS VOOR
DE KOSTENEFFECTIVITEIT
VAN ADAPTATIEMAATREGELEN

VOORWOORD

Ruimtelijke adaptatie wordt vaak genoemd als het meest ingrijpende onderdeel van het Deltaprogramma vanwege de omvangrijke ingrepen in bestaand stedelijk gebied. De kosten voor maatregelen lopen in de vele miljarden en leiden onvermijdelijk tot stijging van de heffing voor burgers en bedrijven. Daarom is het opvallend dat er in vergelijking met bijvoorbeeld de waterveiligheidsopgave of de aanpak van regionale wateroverlast, bij stedelijke adaptatie tot op heden weinig aandacht is voor de kosteneffectiviteit van maatregelen.

In deze white paper onderzoekt Sweco daarom de kosten van maatregelen in relatie tot de schadeverwachting. Hiervoor hebben wij een nieuwe analysetool ontwikkeld: CELCIUS - Cost Effective Line of action for Climate adaptation Investments in Urban Systems. We hebben daarbij gekeken naar de schademechanismen voor wateroverlast, hitte en droogte.

Daarnaast valt ons nog wat anders op. Ondanks de grote aandacht voor klimaatverandering vindt er, in een groot deel van de projecten waar wij bij betrokken zijn, nog altijd weinig concrete doorvertaling plaats naar een klimaatadaptief ontwerp. Dat heeft vele redenen. Wij denken dat de vrijblijvendheid in het beleid en het ontbreken van eenduidige ontwerprichtlijnen belangrijke redenen zijn. Hierdoor ontbreekt besef en urgentie bij ontwikkelmanagers en komt adaptatie bij veel ontwikkellocaties maar moeizaam op gang. Een steeds groter risico ontstaat dat wijken die vandaag gebouwd worden in de komende decennia tegen hogere kosten alsnog aangepast moeten worden. Bij de landelijke beleidsmakers heerst terughoudendheid voor het vaststellen van nieuwe ontwerpnormen of -richtlijnen. Wij begrijpen dit. Er moet ruimte blijven voor een lokaal ambitieniveau en maatwerk. Tegelijkertijd is het in onze ogen te optimistisch te veronderstellen dat bij elk nieuwbouw- of herstructureringsproject een uitgebreide afweging gaat plaatsvinden over het optimale ambitieniveau voor klimaatadaptatie.

Om te kunnen versnellen moet dit eenvoudiger. Wij doen daarom in deze white paper een oproep voor het vaststellen van een landelijk minimaal "adaptatieniveau". Een ontwerpuitgangspunt dat als eerste richtpunt en houvast kan dienen voor een klimaatadaptief ontwerp, maar ruimte laat voor lokaal maatwerk en om onderbouwd af te wijken. In onze ogen vereenvoudigt dit veel ingewikkelde discussies, waardoor we de adaptatie van Nederlandse steden kunnen versnellen.

In deze white paper gaan we achtereenvolgens in op:

- de opgave die in stedelijk gebied ontstaat als gevolg van klimaatverandering;
- de schade die we verwachten als we geen maatregelen nemen;
- de kosten en kosteneffectiviteit van maatregelen om deze schade te voorkomen;
- de oproep voor het vaststellen van een landelijk minimaal adaptatieniveau.

Ik wens u veel leesplezier!



ALEX HEKMAN

Business director Water bij Sweco
Branche ambassadeur Klimaatadaptatie NLingenieurs



INHOUD

1. SAMENVATTING	6
2. DE KLIMAATOPGAVE	7
3. SCHADEVERWACHTING	8
4. KOSTEN VAN MAATREGELEN	11
5. KOSTENEFFECTIVITEIT	12
6. OPROEP TOT VASTSTELLING VAN EEN LANDELIJK ADAPTATIENIVEAU	14
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	16
BIJLAGE 1 REFERENTIES	17
BIJLAGE 2 TOELICHTING CELSIUS REKENTOOL	18

SAMENVATTING

In deze white paper presenteert Sweco voor het eerst een berekening van de totale kosten van maatregelen om Nederlandse steden aan te passen op klimaatverandering. We hebben de kosten berekend met de nieuw ontwikkelde CELSIUS tool. We hebben hierbij gekeken naar wateroverlast, hitte en droogte in bebouwd gebied. Daarnaast hebben we een schadeverwachting tot 2050 berekend op basis van de laatste klimaatscenario's en de meest recente en gedetailleerde databestanden.

De kosten om bebouwd gebied tot 2050 aan te passen aan klimaatverandering bedragen 42 tot 83 miljard euro (netto contante waarde), afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. 31 miljard wordt veroorzaakt door het huidige klimaat. 11 tot 52 miljard kan worden toegeschreven aan klimaatverandering bij optreden van respectievelijk het meer gematigde G_L of extremere W_H klimaatscenario. Bij het bepalen van maatregelen en kosten zijn we uitgegaan van veel gehanteerde ontwerpuitsgangspunten voor weersextremen (voor wateroverlast bijvoorbeeld een bui met een herhalingstijd van 100 jaar ($T=100$) in 2050). Ook zijn we ervan uitgegaan dat maatregelen worden geïntegreerd in lopende onderhouds- of reconstructieprogramma's. Als geen maatregelen worden genomen bedraagt de schadeverwachting tot 2050 36 tot 62 miljard euro.

De berekende kosten voor schade en maatregelen zijn groot. Klimaatadaptatie leidt daarom onvermijdelijk tot lastenverhoging voor burgers en bedrijven. Tegelijkertijd valt op dat de kosten voor maatregelen bij een hoog adaptatieniveau hoger zijn dan de te verwachten schade, waardoor maatregelen niet zondermeer kosteneffectief zijn. Dit geldt vooral bij wateroverlast. Het is daarom verstandig om bij het opstellen van lokale uitvoeringsprogramma's onderzoek te doen naar de kosteneffectiviteit van maatregelen. Wanneer structurele maatregelen niet kosteneffectief zijn kan het aantrekkelijk zijn te kiezen voor een lager adaptatieniveau waarmee schade van de meest extreme situaties wordt geaccepteerd, of voor het toepassen van goedkopere nood- of herstelmaatregelen, of inrichten van een herstelfonds.

Tot slot observeren we dat klimaatadaptieve nieuwbouw en herstructurering maar moeizaam op gang komt. In onze ogen kan het vaststellen van een landelijk minimaal adaptatieniveau voor nieuwbouw en herstructurering de aanpak van klimaatadaptatie versnellen. Flexibiliteit en maatwerk blijft mogelijk door in het minimale adaptatieniveau ook ruimte te bieden aan noodmaatregelen of fondsvorming in gebieden waar structurele maatregelen niet kosteneffectief zijn.

1. DE KLIMAATOPGAVE

In de Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie (2014) hebben het Rijk, provincies, gemeenten en waterschappen afgesproken om bij alle ruimtelijke ontwikkelingen zo veel mogelijk klimaatbestendig en waterrobuust te handelen, zodat in 2050 onze steden klimaatbestendig en waterrobuust zijn ingericht. Op dit moment brengen veel lokale overheden de kwetsbaarheid van stedelijk gebied voor klimaatverandering in beeld. Daarnaast hebben zij een start gemaakt met risicodialogen waarin zij met gebiedspartners bepalen welke maatregelen nodig zijn om de kwetsbaarheid te verkleinen.

De benodigde aanpassing van de openbare ruimte aan klimaatverandering noemen we de klimaatopgave. Om de kosten van de klimaatopgave uit te rekenen is het nodig om in beeld te hebben wat het verschil is tussen de huidige en de gewenste (klimaatadaptieve) stedelijke inrichting, en welke maatregelen nodig zijn om het verschil te overbruggen. Om daarnaast de kosteneffectiviteit van deze maatregelen te bepalen is het nodig om in beeld te hebben welke schade ontstaat als gevolg van klimaatverandering als er geen maatregelen worden genomen.

ONTWERPUITGANGSPUNT AFWATERING

Lange tijd was klimaatverandering geen, of een beperkt aandachtspunt bij het ontwerpen van steden. Een veelgebruikt ontwerpuitgangspunt voor afwatering is gebaseerd op de Kennisbank van stichting RIONED. Deze geeft aan dat een bui van 20 mm/u verwerkt moet kunnen worden zonder water op straat. Dit komt globaal overeen met een neerslagsituatie die statistisch gezien eens in de twee jaar voorkomt (T=2). Aan hitte en droogte werd tot dusver nauwelijks aandacht gegeven.

AANGESCHERPTE ONTWERPUITGANGSPUNTEN

De laatste jaren wordt steeds vaker een aangescherpt ontwerpuitgangspunt gehanteerd waarbij rekening wordt gehouden met weersextremen. Bijvoorbeeld dat een neerslaggebeurtenis die eens in de honderd jaar voorkomt (T=100) niet tot schade mag leiden. Dat komt overeen met een bui van ca. 60 mm in het eerste uur (let op: geactualiseerde regenduurlijnen laten inmiddels al een hogere neerslagintensiteit zien). Stresstesten laten zien dat veel stedelijk gebied in de huidige situatie niet voldoet aan dit uitgangspunt, nog zonder dat we rekening houden met toekomstige klimaatverandering. Daarnaast zien we toenemende aandacht voor het onderwerp droogte. Dit uit zich bijvoorbeeld in een ontwerpuitgangspunt om grondwaterneutraal te bouwen om negatieve effecten op bestaande functies (in stedelijk gebied vaak wegen, riolering, groen en funderingen) te voorkomen.

Bij lange termijn investeringen in vastgoed en infrastructuur is het verstandig aanvullend rekening te houden met het toekomstige klimaat. Op basis van de KNMI klimaatscenario's voor 2050 kunnen we de ontwerpuitgangspunten verder aanscherpen. Dit betekent voor wateroverlast dat bij dezelfde T=100 een bui van 63-75 mm/h zonder schade moet kunnen worden verwerkt. Voor hitte en droogte is het formuleren van een ontwerpuitgangspunt ingewikkelder. Om te kunnen rekenen aan de klimaatopgave hebben we in deze white paper als uitgangspunt genomen dat de situatie tot 2050 niet verslechtert. Voor hitte nemen we als uitgangspunt dat de verwachte toename van de gemiddelde temperatuur van 1 tot 2 °C moet worden voorkomen. Voor droogte nemen we als uitgangspunt dat de verwachte daling van de grondwaterstand van 0-25 cm zonder extra schade moet kunnen worden opgevangen. In Tabel 1 hebben we de ontwerpuitgangspunten samengevat.

Tabel 1 Gehanteerde ontwerpuitgangspunten voor het bepalen van de klimaatopgave

	BESTAANDE ONTWERP-UITGANGSPUNTEN	AANGESCHERPTE ONTWERP-UITGANGSPUNTEN O.B.V. WEERSEXTREMEN 2018	ONTWERPUITGANGSPUNTEN REKENING HOUDEND MET KLIMAATVERANDERING 2050
WATEROVERLAST	20mm/u verwerken in bebouwd gebied zonder water op straat	60 mm/u verwerken in bebouwd gebied zonder schade (T=100)	63 - 75mm/u* verwerken in bebouwd gebied zonder schade (T=100)
HITTE	geen/beperkt aandachtspunt	geen/beperkt aandachtspunt	temperatuurstijging in stedelijk gebied van gemiddeld ca 1 - 2°C voorkomen
DROOGTE	geen/beperkt aandachtspunt	grondwaterneutraal bouwen (geen verlaging grondwaterstand)	daling grondwaterstanden van max. 0-25 cm** opvangen om extra schade te voorkomen

* Deze waarden zijn gebaseerd op de toename in de maximum uurneerslag per jaar volgens het G_e en W_h klimaatscenario van het KNMI.

** Deze waarden zijn gebaseerd op een inschatting van de waarden uit de klimaateffectatlas bij het W_h-klimaatscenario van het KNMI.

2. SCHADEVERWACHTING

Door klimaatverandering neemt de kans op schade als gevolg van extreem weer toe. De leefomgeving is op veel plekken niet voorbereid op de toename van extreme weersomstandigheden. Door extreme neerslag kunnen bijvoorbeeld panden onder water komen te staan, door hitte neemt de arbeidsproductiviteit af en door droogte kan funderingsschade ontstaan. De totale te verwachten schade is een belangrijk vertrekpunt voor het bepalen van kosteneffectieve investeringen voor klimaatadaptatie. Voor Nederland ontbreekt echter een goede, actuele inschatting van de te verwachten schade als gevolg van klimaatverandering op nationale, regionale of lokale schaal. Tot op heden wordt voornamelijk teruggevallen op de publicatie 'Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied' (Deltares, 2012). In deze studie zijn schadedragers geïnventariseerd en zoveel mogelijk gekwantificeerd. In het Manifest Klimaatbestendige Stad (2013) zijn de resultaten uit deze studie verwerkt tot een theoretisch maximale van 71 miljard euro tot 2050 (€ 22 miljard netto contante waarde bij eendiscontovoet van 5,5%).

In deze nieuwe studie hebben wij met behulp van de CELSIUS tool de schadeberekeringen aangescherpt op basis van de KNMI scenario's 2014 en meest recente beschikbare databestanden en modellen. Wij hebben daarbij alleen naar de meest significante schadeposten gekeken. Verder hebben we alleen schadeposten meegenomen waar we voldoende betrouwbare data voor konden vinden, en waarvan we de schade voldoende konden onderbouwen. Op grond daarvan zijn de volgende schadeposten meegenomen:

- **Wateroverlast:** directe en indirecte schade door water in panden, directe en indirecte schade door water op straat, directe en indirecte schade door overstroomde treinsporen.
- **Hitte:** directe en indirecte schade door toename van ziekten en sterfgevallen, vermindering van arbeidsproductiviteit.
- **Droogte:** schade aan kwetsbare funderingen, extra onderhoud en vervroegde vervanging van wegen.

De schades zijn o.a. gebaseerd op de kengetallen van de Waterschadeschatter en kennisprogramma Kennis voor Klimaat, en uitgedrukt in de netto contante waarde 2018 (discontovoet 4,5%). Schade als gevolg van een toename van het overstromingsrisico en schade in landelijk gebied zijn buiten beschouwing gelaten.

Uit onze berekeningen blijkt dat we tot 2050 in de Nederlandse steden een maximale schade van ca. **36 tot 62 miljard euro** kunnen verwachten als gevolg van extreme weersomstandigheden, afhankelijk van het gehanteerde klimaatscenario. Per inwoner gaat het om zo'n 65 tot 115 euro per jaar. Een groot deel van de schadeverwachting als gevolg van weersextremen is autonoom (29 miljard euro), dat wil zeggen, wordt veroorzaakt door het huidige klimaat. De extra schadeverwachting die optreedt als gevolg van klimaatverandering kent een grote bandbreedte van 7 tot 33 miljard euro die wordt veroorzaakt door de onzekerheden in de klimaatscenario's. De berekende schade per schademechanisme is weergegeven in Tabel 2. De schadeverwachting gaat er van uit dat geen tussentijdse maatregelen worden genomen om schades te beperken en betreft daarom een theoretisch maximum (zie verder in het kader). De berekende schade is niet goed vergelijkbaar met de eerder berekende schade uit het Manifest Klimaatbestendige Stad door verschillen in de discontovoet en schadeprijs. Wel constateren we dat de schadeverwachting met name voor een extremer klimaatscenario fors hoger is dan eerder berekend. Dit verklaren we door het gebruik van de meest recente klimaatscenario's en door het gebruik van meer gedetailleerde databronnen en modellen.

Tabel 2 Schadeverwachting tot 2050 als gevolg van weersextremen en klimaatverandering (netto contante waarde in euro)

	WANNEER HET KLIMAAT TOT 2050 NIET VERANDERT	EXTRA SCHADE BIJ KLIMAATSCENARIO G_L (2018 – 2050)	EXTRA SCHADE BIJ KLIMAATSCENARIO W_H (2018 – 2050)	TOTALE KLIMAATSCHADE (2018 – 2050)
WATEROVERLAST	23 miljard	2 miljard	12 miljard	25 - 35 miljard
HITTE	-	5 miljard	11 miljard	5 - 11 miljard
DROOGTE	6 miljard	0 miljard	10 miljard	6 - 16 miljard
TOTAAL	29 miljard	7 miljard	33 miljard	36 - 62 miljard

HOE HEBBEN WE DE SCHADE BEPAALD?

We hebben de klimaatschade bepaald op basis van GIS-analyses, schadegetallen en -formules en ervaringscijfers uit eerdere studies en ontwerputgangspunten. Hiervoor hebben we de CELSIUS-tool gebouwd die zowel lokaal als regionaal toegepast kan worden.

Om de schade door wateroverlast te bepalen hebben we voor 23 gemeenten, verspreid door Nederland en wisselend in ondergrond en omvang, een globale waterbalans voor het stedelijk gebied gemaakt en de resultaten hiervan geëxtrapoleerd. Uit de berekening blijkt dat het grootste deel van de schadeverwachting al voorkomt bij het huidige klimaat. De toename als gevolg van klimaatverandering bedraagt ca. 20 tot 50%, afhankelijk van het gekozen klimaatscenario.

Om de schade door hittestress te bepalen hebben we gekeken naar arbeidsproductiviteit en de schade door een toename in ziekenhuisopnames en dodelijke slachtoffers. Vooral de afname in arbeidsproductiviteit leidt tot een groot schadebedrag. Niet elke bedrijfstak is even gevoelig voor hittestress; wij hebben hier een inschatting voor gemaakt. Elke extra graad boven de 23° zorgt bij de gevoelige bedrijfstakken voor een afname in productiviteit. Voor hitte hebben we alleen gekeken naar de temperatuuroptocht in de komende jaren ten opzichte van het huidige klimaat. De schade is dus volledig toe te schrijven aan klimaatverandering.

De schade door droogte hebben we bepaald op basis van berekende schades aan houten paalfunderingen en schade door zetting van wegen. Met GIS-analyses hebben we de omvang van de schade in kaart gebracht. Op basis van kenmerken als bodemgesteldheid, grondwaterstand en leeftijd zijn kwetsbare panden en gebieden geïdentificeerd. Aanvullend hebben we met peilbuizen uit het DINO-loket berekend hoe groot nu al de droogstand van houten paalfunderingen is. Uit deze analyse blijkt dat nu al veel droogstand plaatsvindt, waardoor een groot aantal funderingen in de komende decennia schade zullen ondervinden. Vooral de schade aan houten paalfunderingen vormt een grote schadepost, omdat dit op termijn leidt tot het onbewoonbaar worden van een pand. Hoe klimaatverandering de grondwaterstanden gaat beïnvloeden is nog erg onzeker waardoor een bandbreedte ontstaat in de schadegetallen. Afhankelijk van het klimaatscenario en de gebiedskenmerken berekenen we een daling van de gemiddeld laagste grondwaterstanden van 0 tot 25 centimeter. Deze bandbreedte hebben we als vertrekpunt genomen.

DISCLAIMER: De gepresenteerde schadebedragen zijn een theoretisch maximum. Dit heeft de volgende redenen:

- De schadeberekeningen gaan uit van een scenario zonder tussentijdse maatregelen om schade te beperken. In de praktijk worden vaak al maatregelen genomen voordat dit schadebedrag wordt bereikt. Bijvoorbeeld: een woningeigenaar die al een keer water in zijn woning heeft meegemaakt zal waarschijnlijk zelf maatregelen nemen om de kans op wateroverlast te verkleinen. Ook worden bijvoorbeeld bij wijkreconstructies maatregelen genomen om blootstellingsrisico's te verkleinen.*
- Regelmatig ondervinden wij dat het lastig is een relatie te leggen tussen de theoretisch berekende schadebedragen en de werkelijk optredende schade bij extreme neerslaggebeurtenissen. De laatste lijkt vaak lager. Dit kan komen doordat schades onzichtbaar blijven of gedupeerden de schade niet melden. Het is ook mogelijk dat we ondanks het gebruik van geavanceerde neerslag- en stromingsmodellen schades overschatten.*



3. KOSTEN VAN MAATREGELEN

Om schade te voorkomen worden door heel het land klimaatadaptatiemaatregelen voorbereid en uitgevoerd. Om een idee te krijgen van de kosten voor Nederland als geheel, hebben we een maatregelenpakket met bijbehorende kosten uitgewerkt. We zijn er hierbij vanuit gegaan dat de maatregelen worden uitgevoerd door mee te liften op reguliere ruimtelijke ontwikkelingen, zoals herstructurering of groot onderhoud in stedelijk gebied. Dit is immers het vetrekpunt van de Deltabeslissing.

De totale kosten van de maatregelen berekenen wij op **42 tot 83 miljard euro**, afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. Per inwoner gaat dit om een bedrag van ca. 75 tot 150 euro per jaar. 31 miljard euro is nodig voor het opvangen van weersextremen van het huidige klimaat. Afhankelijk van hoe klimaatverandering zich ontwikkelt is tot 2050 11 tot 52 miljard euro extra nodig bij respectievelijk het G_L en W_H klimaatscenario. De maatregelen zijn gebaseerd op de ontwerputgangspunten van Tabel 1. Dit betekent, dat met de maatregelen de verwachte schade niet volledig naar nul wordt teruggebracht. Er blijft een restopgave over voor weersituaties die extremer zijn dan de gekozen ontwerputgangspunten.

Tabel 3 Kosten adaptatiemaatregelen (netto contante waarde 2018 in euro, discontovoet 4,5%)

	OPGAVE BIJ HUIDIG KLIMAAT	EXTRA OPGAVE BIJ KLIMAATSCENARIO G _L (2018 – 2050)	EXTRA OPGAVE BIJ KLIMAATSCENARIO W _H (2018 – 2050)	TOTALE KOSTEN VOOR MAATREGELEN
WATEROVERLAST	25 miljard	11 miljard	48 miljard	36 – 73 miljard
HITTE	-	-	2 miljard	0 – 2 miljard
DROOGTE	6 miljard	0 miljard	2 miljard	6 – 8 miljard
TOTAAL	31 miljard	11 miljard	52 miljard	42 – 83 miljard

HOE HEBBEN WE DE MAATREGELEN EN KOSTEN BEPAALD?

Om de kosten te bepalen hebben we voorkeursmaatregelen bepaald, de benodigde omvang berekend en hier kostenkengetallen aan gekoppeld waarbij we er van uitgaan dat maatregelen meeliften in reguliere reconstructies en onderhoud. De kostenkengetallen zijn gebaseerd op de Kennisbank van stichting RIONED, informatie van aannemers en verschillende studies en ervaringscijfers.

Voor het voorkomen van **wateroverlast** hebben we eerst een voorkeursvolgorde van typen maatregelen opgesteld. Bij voorkeur worden eerst bovengronds groene maatregelen getroffen, zoals het weghalen van stenen uit tuinen en het verlagen van groenstroken zodat water daar tijdelijk kan worden geborgen. Dit zijn relatief goedkope maatregelen die bovendien – mits goed ingepast – een positief effect hebben op de kwaliteit van de leefomgeving. Als deze mogelijkheden zijn benut, dan kunnen straten worden aangepast om water op te slaan. Daarna komen de relatief dure en ingrijpende ondergrondse maatregelen, zoals het vergroten van riolen en het aanleggen van bergbezinkbassins. Met GIS-analyses hebben we bepaald hoeveel tuinen, groen en verhard oppervlak beschikbaar zijn voor extra waterberging. De resterende wateropgave hebben we verdeeld over ondergrondse maatregelen.

Gangbare maatregelen om de omgevingstemperatuur te verlagen zijn het planten van bomen, aanleggen van groene daken of wit schilderen van daken. Het bleek lastig om het effect van hittestressmaatregelen in te schatten, omdat er nog geen rekenmodellen zijn die dit voor grote gebieden kunnen doorrekenen. Op basis van verkennende berekeningen hebben we ingeschat dat 25% van de platte daken in Nederland groen of wit moet worden gemaakt om de temperatuur 1 graad naar beneden te brengen. Voor de kosten zijn we daarom uitgegaan van 50% groene en 50% witte daken.

Om de kosten voor droogtmaatregelen te bepalen hebben we de kosten berekend van funderingsherstel na optreden van schade aan woningen en aanleg van DIT-riolen (die water kunnen draineren en infiltreren) om grondwaterstanden ter plaatse van infrastructuur te stabiliseren.

4. KOSTENEFFECTIVITEIT

Uit de berekeningen blijkt dat op landelijke schaal de totale kosten voor adaptatiemaatregelen gebaseerd op de ontwerpuitgangspunten van Tabel 1 vergelijkbaar of hoger zijn dan de schadeverwachting, vooral bij een extremer klimaatscenario. Dit wordt met name veroorzaakt door de wateroverlastmaatregelen. De kosten voor bescherming tegen een T=100 neerslagsituatie (van 2050) zijn hoger dan de schade die er mee wordt voorkomen. In sommige gevallen zal het dus financieel aantrekkelijker zijn om de schade te accepteren. Voor hitte en droogte is de vermeden schade wel hoger dan de kosten van maatregelen.

Nu is de landelijke schaal niet het juiste niveau om conclusies te trekken over de kosteneffectiviteit van maatregelen. Deze afweging moet op lokale schaal worden gemaakt. Zo kan het op het niveau van een wijk of een kwetsbare straat wel kosteneffectief zijn om maatregelen te nemen.

Bovendien kunnen ook andere zaken een rol spelen, zoals de wens om overlast te voorkomen rondom kwetsbare functies, of aanvullende baten van maatregelen door een verhoogde belevingswaarde. Ook zijn er op lokale schaal wellicht mogelijkheden voor kostenbesparingen.

Desalniettemin laten de berekeningen zien dat de kosten voor maatregelen voor extreme situaties (voor wateroverlast T=100) gemiddeld genomen niet opwegen tegen de schadeverwachting. Vanuit financieel oogpunt is het daarom aantrekkelijk om te zoeken naar een optimaler beschermingsniveau, waarbij investeringen enerzijds leiden tot een acceptabel adaptatieniveau, maar ook opwegen tegen de bereikte schadereductie. In het kader is ter illustratie een reëel voorbeeld uitgewerkt.

Het voorbeeld in het kader gaat uit van structurele maatregelen. Voor de laatste mm van de opgave neemt de kosteneffectiviteit snel af. Voor dit deel van de opgave kan worden gekozen om eventuele schade te accepteren, maar er kan ook gekeken worden naar andersoortige maatregelen. In de wetenschappelijke literatuur (o.a. Raadgever, G.T. and Hegger, D.L.T. (Eds). *Flood risk management strategies and governance*, Springer, 2018) wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen maatregelen voor klimaatadaptatie:

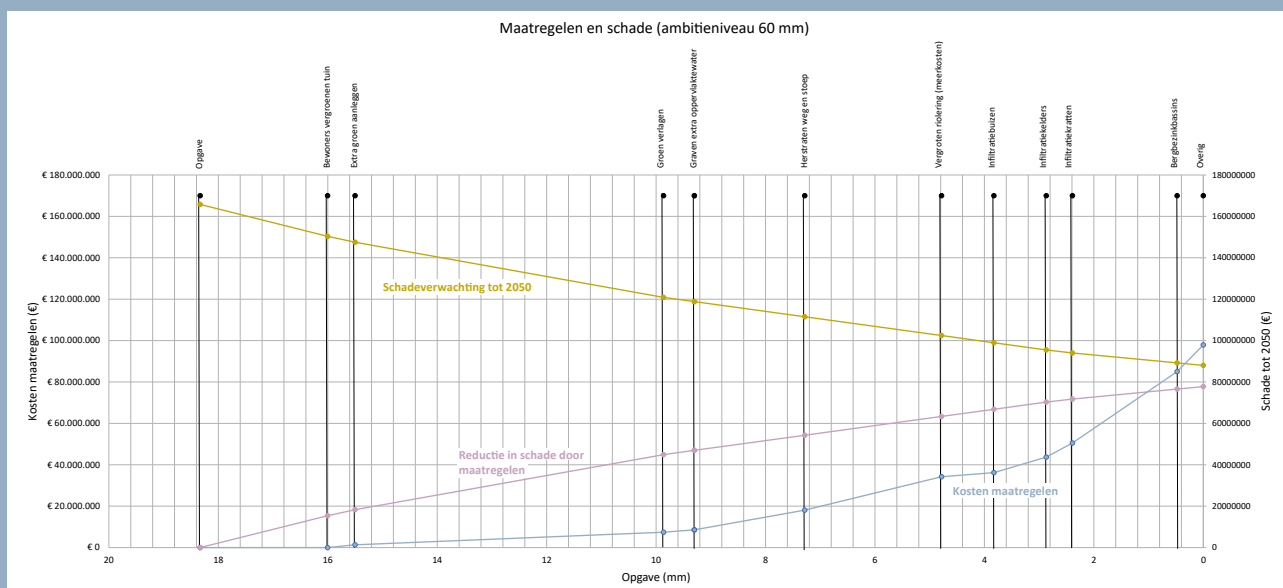
- structurele (fysieke) maatregelen die de blootstelling beperken;
- structurele maatregelen die de kwetsbaarheid verkleinen;
- noodmaatregelen tijdens een gebeurtenis;
- maatregelen die het herstel bevorderen.

Op dit moment wordt in Nederland vrijwel altijd gekozen voor relatief dure structurele maatregelen die de kwetsbaarheid verkleinen (zoals aanleggen van meer waterberging) en soms voor structurele maatregelen die de blootstelling verkleinen (zoals het hoger bouwen van woningen). Echter, wanneer de kosten van deze maatregelen niet opwegen tegen de baten (vermeden schade), dan kan een keuze voor noodmaatregelen of herstelmaatregelen ook een goede manier zijn om schade te beperken. Vooral voor bescherming tegen extreme gebeurtenissen met hoge herhalingstijden kan een tijdelijke of noodmaatregel al snel veel goedkoper uitpakken. Soms is een schot voor de woning voldoende om waterschade te voorkomen, of kan het voldoende zijn om bruggen nat te houden tijdens een warme periode. Ook zou op gemeenteniveau kunnen worden gekozen voor het oprichten van een (schade)fonds waaruit een bijdrage voor herstelwerkzaamheden kan worden gedaan voor kwetsbare gebieden waar de kosten van maatregelen niet opwegen tegen de schade.

LOKALE OPTIMALISATIE VAN KOSTENEFFECTIVITEIT VAN INVESTERINGEN

Uit onze analyse blijkt dat de kosten voor wateroverlastmaatregelen voor het opvangen van een T=100 neerslagsituatie en de schadeverwachting op landelijke schaal in dezelfde orde grootte liggen of hoger zijn dan de schadeverwachting. Bij het opstellen van maatregelenpakketten is het daarom zinvol extra aandacht te geven aan de kosteneffectiviteit van maatregelen.

We illustreren dit aan de hand van een reële casus van een gemeente met een wateroverlastopgave van 18 mm om een bui van 60 mm/h te kunnen verwerken zonder schade (het huidige beschermingsniveau is 42 mm/h). De totale schadeverwachting tot 2050 is € 170 miljoen. Figuur 1 toont de kostencurve voor maatregelen die genomen kunnen worden om waterschade te voorkomen (waarbij er vanuit is gegaan dat maatregelen meeliften op reguliere reconstructie en onderhoudswerkzaamheden). In de grafiek zijn de maatregelen geprioriteerd op kosteneffectiviteit, waarbij eerst zo veel mogelijk relatief goedkope maatregelen in de openbare ruimte worden ingezet en pas als deze zijn uitgeput relatief dure maatregelen in de ondergrond. Met het maatregelenpakket (o.b.v. T=100) wordt de schadeverwachting gereduceerd met ca. € 80 miljoen. Door voor deze gemeente alleen bovengrondse maatregelen te treffen kan met ca. 35% van de kosten (€ 35 miljoen) bijna 75% van de wateroverlastopgave wordt opgelost (13 van de 18 mm), waarmee de schadeverwachting afneemt met ruim € 60 miljoen. Daarna neemt de kosteneffectiviteit van maatregelen af en voor de laatste mm overstijgen de kosten van maatregelen zelfs de afname van de schadeverwachting. Het is hier de vraag hoe zinvol het is om deze maatregelen nog te nemen.



Figuur 1 Kostencurve maatregelen tegen wateroverlast (€ per opgeloste mm). In dit voorbeeld treedt zonder aanvullende maatregelen geen schade op bij neerslag tot 42,5 mm/h. Om schade te voorkomen boven deze bui is een maatregelenpakket uitgewerkt om het beschermingsniveau te verhogen tot 60 mm/h. De maatregelen zijn geprioriteerd op grond van kosteneffectiviteit. Uit de grafiek komt naar voren dat vanaf een beschermingsniveau van 59 mm de kosten voor maatregelen de schadeverwachting overtreffen. Vanaf 56 mm is er een duidelijke afname in de kosteneffectiviteit van maatregelen te zien.

5. OPROEP TOT VASTSTELLING VAN EEN LANDELIJK ADAPTATIENIVEAU

De klimaatopgave voor de komende 50 jaar is enorm en vraagt om grote investeringen op basis van een doelgerichte aanpak. Ondanks de grote aandacht voor klimaatverandering zien we dat op dit moment klimaatadaptatie in veel nieuwbouw en herstructurering nog maar beperkt een rol speelt en verouderde ontwerprichtlijnen worden gehanteerd die geen rekening houden met klimaatverandering. Hoewel een groot aantal lokale overheden in enige vorm aan de slag is met stresstesten en risicodialogen zien wij in de praktijk van nieuwbouw en herstructurering vaak dat in het ontwerp nog geen rekening wordt gehouden met weersextremen.

Wij komen daarbij verschillende oorzaken tegen. De belangrijkste is misschien wel dat veel gemeenten zoekend zijn in nut en noodzaak van hogere ontwerpnormen. Ook zijn ze zoekend in hoe en in welke mate ze adaptatie een plek moeten geven in projecten. Het landelijk beleid is op dit punt vrijblijvend en geeft geen houvast. Hierdoor mist de overtuigingskracht in de onderhandelingen met ontwikkelmanagers, ontwikkelaars en bouwers, en wordt uiteindelijk vaak teruggevallen op oude vertrouwde ontwerpnormen die duidelijkheid scheppen. Bovendien geven gemeenten aan dat ze (juridische) handvatten missen waarmee ze een strengere norm kunnen afdwingen en vastleggen. Ontwikkelmanagers zien adaptatie niet zelden als vrijblijvende duurzaamheidseis, die makkelijk ingewisseld kan worden tegen andere duurzaamheidsambities. Op andere plekken zien we dat er belemmeringen zijn in de lokale regelgeving voor inpassing van adaptatiemaatregelen. We kennen voorbeelden waar ontwikkelaars adaptatie graag een plek wilden geven in het stedelijk ontwerp, maar waarbij oplossingen sneuvelden doordat ze niet inpasbaar waren in de gemeentelijke Handreiking Inrichting Openbare Ruimte (HIOR).

Dit leidt er momenteel toe dat veel nieuwbouw en herstructureringsprojecten niet klimaatadaptief worden aangelegd. Gelet op de versnelling in de bouw en de bouwopgave van 1 miljoen woningen tot 2040 moet dit snel anders. In onze ogen worden gemeenten geholpen met een duidelijke richtlijn, zodat adaptatie niet langer afhankelijk is van het onderhandelingsproces bij nieuwbouw- en herstructurering. Een sterke rol van de landelijke overheid voorkomt dat 380 gemeenten elk voor zich het wiel uitvinden, dat elke gemeente er een eigen interpretatie van klimaatadaptatie op na houdt, dat nieuwbouw en herstructurering in de komende decennia alsnog tegen hogere kosten moet worden aangepast, en dat burgers worden geconfronteerd met ongelijkheid in aanpak, uitwerking en kosten.

Wij doen daarom een oproep voor het vaststellen van een landelijk minimaal adaptatieniveau dat als vertrekpunt geldt voor nieuwbouw en herstructurering. Een ontwerpuitgangspunt dat als eerste richtpunt en houvast kan dienen voor een klimaatadaptief ontwerp, maar ruimte laat voor lokaal maatwerk en om onderbouwd af te wijken. Een landelijke ondergrens waar een ontwerp minimaal aan moet voldoen voorkomt langdurige lokale discussies die de voortvarendheid in de aanpak van klimaatadaptatie kunnen frustreren. En zorgt voor een basis die rechtsongelijkheid voorkomt. Flexibiliteit en maatwerk kan worden behouden door in het minimale adaptatieniveau ook ruimte te bieden aan noodmaatregelen of fondsvorming in gebieden waar structurele maatregelen niet kosteneffectief zijn. In onze ogen ondersteunt dit de voortvarendheid van de aanpak.



6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met de nieuw ontwikkelde CELSIUS tool hebben wij de schadeverwachting berekend voor bebouwd gebied in Nederland tot 2050. Wij hebben daarbij gekeken naar wateroverlast, hitte en droogte. De schadeverwachting door weersextremen tot 2050 is berekend op 36 tot 62 miljard euro, afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. 29 miljard wordt veroorzaakt door het huidige klimaat. 7 tot 33 miljard kan worden toegeschreven aan klimaatverandering bij optreden van respectievelijk het G_L of W_H scenario. Met name voor een extremer klimaatscenario is de schadeverwachting fors hoger dan eerder berekend in het Manifest Klimaatbestendige Stad (2013). Dit wordt met name veroorzaakt door gebruik van de meest recente KNMI-klimaatscenario's van 2014, en meer recente en gedetailleerde databronnen en modellen.

Daarnaast hebben we de kosten voor adaptatiemaatregelen in beeld gebracht, gebaseerd op aangescherpte ontwerppunten tegen weersextremen. De kosten bedragen 42 tot 83 miljard voor respectievelijk het G_L en W_H scenario. Wateroverlast is de grootste kostenpost. De kosten zijn daarmee op landelijk niveau vergelijkbaar of hoger dan de vermeden schade. Hieruit blijkt dat maatregelen bij een hoog adaptatieniveau niet zondermeer kosteneffectief zijn. Het is daarom verstandig om bij het opstellen van lokale uitvoeringsprogramma's onderzoek te doen naar de kosteneffectiviteit van maatregelen. Wanneer structurele maatregelen niet kosteneffectief zijn kan het aantrekkelijk zijn te kiezen voor een lager adaptatieniveau waarmee schade van de meest extreme situaties wordt geaccepteerd, of toepassen van goedkopere nood- of herstelmaatregelen, of inrichten van een herstelfonds.

Een belangrijk deel van de schadeverwachting en kosten is afhankelijk is van het klimaatscenario. Het lijkt daarom zinvol nu in te zetten op no-regret maatregelen die onder alle scenario's kosteneffectief zijn, en te wachten met de meest kostbare ingrepen totdat meer duidelijk is hoe het klimaat verandert. Bij het opstellen van maatregelenpakketten verdient het aanbeveling uit te gaan van een uitvoeringsprogramma dat in de toekomst uitgebreid kan worden als het klimaat zich extremer ontwikkelt.

De enorme bedragen voor maatregelen zullen onvermijdelijk leiden tot lastenverhoging voor burgers en bedrijven. Het is ook daarom belangrijk meer aandacht te geven aan de kosteneffectiviteit van investeringen. De resultaten van de CELSIUS-tool bieden voor gemeenten belangrijke input voor de risicodialogen en het opstellen van doelmatige investeringsstrategieën en uitvoeringsprogramma's.

Tot slot, maar niet minder belangrijk, observeren we dat klimaatadaptieve nieuwbouw en herstructurering maar moeizaam op gang komt. Een belangrijke oorzaak is in onze ogen het ontbreken van landelijke ontwerprichtlijnen. Hierdoor ontstaan risico's dat aankomende decennia onnodig extra kosten moeten worden gemaakt. Ook ontstaan voor burgers en bedrijven grote verschillen in het adaptatieniveau. Dit is in onze ogen een onwenselijke ontwikkeling. Wij doen daarom een oproep voor het vaststellen van een landelijk minimaal adaptatieniveau dat als vertrekpunt geldt voor nieuwbouw en herstructurering. Flexibiliteit en maatwerk blijft mogelijk door in het minimale adaptatieniveau ook ruimte te bieden aan noodmaatregelen of fondsvorming in gebieden waar structurele maatregelen niet kosteneffectief zijn. Wij zijn ervan overtuigd dat dit helderheid schept en de klimaatadaptieve aanpak van onze steden versnelt.



ELWIN LEUSINK

Elwin Leusink is senior adviseur Klimaatadaptatie bij Sweco: "Klimaatadaptatie en ruimtelijke adaptatie zijn bij veel gemeentes steeds belangrijker geworden. Ze voelen de verantwoordelijkheid om Nederland nog beter voor te bereiden op weersextremen. Ik houd me bezig met de vraagstukken van onze partners en bouw samen met hen aan de samenleving van de toekomst."

T +31 88 811 61 28 E elwin.leusink@sweco.nl

Met medewerking van Anouk Donkervoort, Arend van Woerden, Harm van Oorschot, Joris de Visser, Karst Jan van Esch, Lucas Nieuweboer, Renske ter Horst en Tom Raadgever.



BIJLAGE 1 REFERENTIES

GEBRUIKTE REFERENTIES:

- Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, september 2017
- Deltaprogramma 2019, september 2018
- Deltares (2012), Schades door watertekorten- en overschotten in stedelijk gebied
- Döpp, S., Klok, L., et al (2011), Kennismontage Hitte en Klimaat in de stad, Climate Proof Cities consortium, TNO-060-UT-2011-01053
- Economic Evaluation of Climate Change Impacts, Steininger, König, Bednar-Friedl, Kranzl, Loibl, Pretenthaler (Eds.), 2015
- Habers, J. (2014) Maatschappelijke kosten en baten analyse Begroeide daken, Gemeente Rotterdam
- Jandaghian, Z. and Akbari H. (2018) The Effect of Increasing Surface Albedo on Urban Climate and Air Quality: A Detailed Study for Sacramento, Houston, and Chicago, *Climate* 2018, 6, 19, 21 pages; doi:10.3390/cli6020019
- KNMI (2014), KNMI'14-klimaatscenario's: Kerncijfers: <http://www.klimaatscenario's.nl/kerncijfers/>
- Manifest klimaatbestendige stad, coalitie klimaatbestendige stad, 2013
- Noordman, B. (2018, mei 14), persoonlijke communicatie Sweco
- Peng, L.H. and Jim, C.Y. (2013) Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation, *Energies* 2013, 6, 598-618; doi:10.3390/en6020598
- PBL (2015), De stad verbeeld, http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2015_De%20stad%20verbeeld_1744.pdf
- Raadgever, G.T. and Hegger, D.L.T. (Eds). Flood risk management strategies and governance, Springer, 2018
- Santamouris, M. (2012) Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments, *Elsevier Solar Energy* 103 (2014) P 682–703
- Stone, K., Daanen, H., Jonkhoff, W. and Bosch P. (2013) Quantifying the sensitivity of our urban systems, Impact functions for urban systems, Nationaal Onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat
- Sweco (2018), Kosten in beeld, via http://www.slappebodem.nl/getattachment/7bc48768-b238-4f09-9102-bf0b7002b933/Kosten-in-Beeld_Sweco_Platform-Slape-Bodem_Managementrapportage.pdf
- Yang J., Wang, Z. and Kaloush, K.E. (2015) Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?, *Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47 P 830–843
- De Nederlandse economie 2007 – CBS, Kernegevenstabel 2016-2019 d.d. 16 8 2018 CBS

GEBRUIKTE OPENBARE DATABRONNEN, O.A.:

- Waterschadeschatter
- DINO loket
- BAG, BGT, AHN
- Kennisbank van stichting RIONED

BIJLAGE 2 TOELICHTING CELSIUS REKENTOOL

OMVANG BEPALEN	
TOENAME NEERSLAG	<p>We hebben een globale waterbalans opgesteld door de verdeling van het water te bepalen bij een hevige bui. Bij hevige neerslag vult eerst het riool, stijgt het oppervlaktewater en infiltreert het water in de bodem. Zodra dit niet meer kan blijft het water bovengronds staan op straten, rondom oppervlaktewateren en op grasvelden. En als dit niet meer kan overstroomt het gebied. Elke gemeente heeft een andere hoeveelheid verharding, oppervlaktewateren en groen, daarom verschilt de omvang van de overstroming per gemeente.</p>
HITTESTRESS	<p>Arbeidsproductiviteit De schade door vermindering van de arbeidsproductiviteit hebben we bepaald door de daling van het Nederlandse BBP te berekenen als gevolg van vaker voorkomende hete dagen. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van de publicatie "Economic Evaluation of Climate Change Impacts". Hieruit halen we dat bij een temperatuurstijging van 23 tot 30 graden de productiviteit met 30% afneemt. Dit hebben we verrekend tot een afname van productiviteit van 4,3% per temperatuurstijging van 1 graad Celsius.</p> <p>Toename zieken en doden Om de schade door een toename van het aantal zieken en doden te bepalen zijn formules gebruikt die binnen het Nationaal Onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat zijn ontwikkeld. Hierin worden de kosten beschreven voor sterfte en voor ziektekosten op basis van ziekenhuisopnamen. Dit hebben we berekend voor de toename in dagen waarop de temperatuur boven de 25 graden Celsius komt. Hierbij zijn we er van uitgegaan dat alle Nederlanders in bebouwd gebied wonen en dat in stedelijk gebied de temperatuur gemiddeld 5 graden hoger ligt dan in omliggend gebied.</p>
DROOGTE	<p>Houten paalfundering De funderingsschade hebben we bepaald door eerst de risicovolle panden te identificeren. Hiervoor hebben we aangehouden dat ze in zettingsgevoelig gebied liggen (op de door Deltares gemaakte zettingskaart een zetting van 0,3 meter of meer) en gebouwd zijn in de periode van 1890 tot 1970 (de periode dat houten paalfundering veel werd toegepast). Vóór 1890 is ook houten paalfundering gebruikt, maar toen werd nog vooral op beperkte schaal op zandruggen gebouwd en hier is de kans op droogteschade beperkt. In historische steden waar voor 1890 houten paalfunderingen zijn toegepast (Amsterdam, Rotterdam, Gouda, Delft, Leiden, Zaanstad, Haarlem) zijn deze panden apart geselecteerd en meegenomen. Het totaal aantal risicovolle panden komt hiermee op iets onder de 800.000 stuks.</p> <p>Zettingsschade wegen De schade aan wegen hebben we bepaald door alle wegen in zettingsgevoelig gebied te selecteren en te classificeren naar zettingscategorie (0,1-0,3 matig zettend; 0,3 en hoger: zeer zettend). In de studie "Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied" wordt ingeschat dat de grondwaterstanddaling in deze gebieden de komende 15 jaar leidt tot een aanvullende zetting van maximaal 10 cm.</p>

SCHADE BEPALEN	
TOENAME NEERSLAG	De overstroming hebben we verrekend naar kwetsbare panden, wegen en spoorwegen. Voor wegen en spoorwegen hebben we de overstroming verhoudingsgewijs omgerekend naar het percentage (spoor)wegen binnen de gemeente. Om het aantal risicovolle panden te bepalen hebben we eerdere studies van ons bekeken en het percentage kwetsbare panden omgeslagen naar het percentage kwetsbaar oppervlak panden (de schade ontstaat bij een vast percentage aan kwetsbare panden, maar de waterhoogte verschilt). Hier hebben we schadebedragen afkomstig van de waterschadeschatter aan gekoppeld. Deze schadebedragen richten zich op de schade aan gebouwen (directe schade beschadigde vloeren en indirecte schade als tijdelijk ergens anders moeten wonen) en infrastructuur (directe schade als schoonmaakkosten en indirecte schade door onbereikbaarheid).
HITTESTRESS	<p>Arbeidsproductiviteit De vermindering van de arbeidsproductiviteit hebben we doorgerekend voor 39% van de Nederlandse economie. Dit hebben we gebaseerd op een eigen inschatting van de bedrijfstakken die gevoelig zijn voor hittestress, waarbij steeds slechts een deel van de bedrijfstak gevoelig is voor hittestress. Het productiviteitsverlies voor dit deel van de Nederlandse economie hebben we omgerekend naar het Bruto Binnenlands Product.</p> <p>Toename zieken en doden Ziektes leiden tot medische kosten en verminderde arbeidsproductiviteit. Ook is aan levens een waarde te koppelen, dus elke dode vertegenwoordigt ook een waarde. Dit is in de formules van het Nationaal Onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat verwerkt.</p>
DROOGTE	<p>Houten paalfundering Er is weinig bekend over het aantal panden dat gefundeerd is op houten palen. Een studie uit 1963 (Veldhuijzen, 1963) laat zien dat destijds bij ongeveer 50% van de nieuwbouwhuizen houten palen werden gebruikt. We hebben daarom de inschatting gemaakt dat bij 50% van de risicovolle panden werkelijk schade optreedt. Het schadebedrag hebben we bepaald door de kosten van funderingsherstel te berekenen. Hierbij hebben we de redenering gevolgd dat het voor een woningeigenaar een rationele manier van handelen is om niet meer funderingsschade te accepteren dan de waarschijnlijke herstelkosten. Hiermee is de maximale funderingsschade gelijk aan de kosten voor het funderingsherstel.</p> <p>Zettingsschade wegen Met kostenkengetallen uit de LifeCycleCost-Tool die Sweco heeft ontwikkeld hebben we vervolgens berekend wat de kosten van de zetting zijn tot 2050.</p>

KANS OP SCHADE BEPALEN

TOENAME NEERSLAG	<p>Dit hebben we gedaan voor 14 buien met een herhalingstijd van 1x per 0,5 jaar tot 1x per 10.000 jaar. Elke bui heeft een kans om overal in Nederland één of meerdere keren te vallen in de periode tot en met 2050. Hiermee hebben we een schadecurve opgebouwd.</p>
HITTESTRESS	<p>We hebben de toename van het aantal warme dagen berekend aan de hand van de klimaatscenario's van het KNMI. We rekenen dus alleen de schade toe die door toekomstige klimaatverandering zal plaatsvinden.</p>
DROOGTE	<p>Houten paalfundering Volgens het KCAF (Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek) is er funderingsschade bij een cumulatieve droogstand van 10 jaar. Ook is bekend dat bij houtenpaalfundering het hout vaak begint vanaf 2 meter onder maaiveld. Om het aantal dagen te berekenen dat houten palen droog komen te staan hebben we van 5 gemeenten uit het veenweidegebied alle grondwaterpeilbuis-meetreeksen uit het DINO-loket gedownload. De metingen uit deze peilbuizen moesten aan de volgende eisen voldoen om in de berekening te worden opgenomen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peilbuizen moeten meten in de bovenste 6 meter vanaf het maaiveld. • De meetreeks moet langer zijn dan 3 jaar. • Er moeten minstens 4 metingen per jaar zijn uitgevoerd <p>De meetreeksen zijn geanalyseerd over de meetperiode. Vervolgens is opgeteld hoeveel dagen per jaar de grondwaterstand onder de 2 meter was en een gemiddeld aantal 'droogstanddagen' bepaald. Hiermee hadden we een een gemiddelde droogstand per jaar. Ongeveer 200 peilbuizen voldeden aan de eisen en hieruit kwam een gemiddeld aantal droge dagen per jaar van 34,5. Dit gemiddelde hebben we geëxtrapoleerd naar de leeftijd van panden om te bepalen of zij in de periode tot en met 2050 funderingsschade kunnen verwachten.</p> <p>Zettingsschade wegen In het G_L-scenario van het KNMI dalen de grondwaterstanden niet verder. Voor het W_H-scenario wordt een daling tot 25 cm verwacht (hier zijn lokaal grote verschillen in, wij hebben hier een hoge inschatting gekozen uit de klimaateffectatlas).</p> <p>Onze experts schatten in dat een weg wordt aangepakt als er een zetting heeft opgetreden van 40 cm en dat een weg na gemiddeld 20 jaar wordt vervangen. Zij schatten in dat de aanvullende zetting van 10 cm de levensduur met 5 jaar verkort.</p>

MAATREGELEN BEPALEN

TOENAME NEERSLAG	<p>We hebben een voorkeursvolgorde voor maatregelen bepaald. In eerste instantie willen we zoveel mogelijk bovengrondse maatregelen, als dit niet meer kan vinden maatregelen ondergronds plaats. En maatregelen die water vasthouden hebben een voorkeur boven water bergen. Bij hevige neerslag is afvoeren meestal geen optie, zonder dat ergens anders extra berging is gecreëerd. Deze optie hebben we daarom buiten beschouwing gelaten.</p>
HITTESTRESS	<p>We hebben gekeken naar het grootschalig toepassen van fysieke maatregelen in de openbare ruimte. Arbeidsproductiviteit heeft voor een deel te maken met temperatuur in gebouwen en zal daarom beperkt worden beïnvloed door maatregelen in de openbare ruimte. Dit geldt waarschijnlijk ook voor het aantal zieken en doden.</p> <p>Er is weinig bekend over grootschalige toepassing van fysieke hittestressmaatregelen. Groene daken, witte daken en bomen geven verkoeling, maar er is weinig bekend over het effect van combinaties van maatregelen en de grootschalige toepassing van maatregelen. Groene daken en witte daken zijn relatief makkelijk inpasbaar in steden, daarom hebben we dit verder uitgewerkt.</p>
DROOGTE	<p>We hebben twee soorten maatregelen bekeken: funderingsherstel en DIT-riolen. DIT-riolen kunnen in beperkte mate de grondwaterstand beïnvloeden: hoe verder weg van het riool, des te minder invloed. Lokaal kunnen er grote verschillen zijn in opbouw van de ondergrond, waardoor de invloed beperkter of groter kan zijn.</p> <p>We achten DIT-riolen daarom haalbaar om schade aan infrastructuur te voorkomen, want de afstand tussen het riool en de infrastructuur is beperkt. Voor funderingsproblemen lijkt funderingsherstel een meer voor de hand liggende maatregel.</p>

OMVANG VAN MAATREGELEN BEPALEN

TOENAME NEERSLAG	Voor elke maatregel is er een maximum aangenomen. Zo hebben we gesteld dat maximaal 25% van de verharding in tuinen kan worden verminderd en maximaal 10% extra open water kan worden gegraven. Hiermee is de opgave bekend en is duidelijk hoeveel van elke maatregel kan worden doorgevoerd.
HITTESTRESS	<p>Uit een studie van Santamouris (2012) halen we dat grootschalige toepassing van groene daken op straatniveau leidt tot een temperatuurdaling van 0,3 tot 3 graden Celsius. We zijn er van uitgegaan dat witte daken een vergelijkbaar effect hebben.</p> <p>Er is ongeveer 400 vierkante kilometer plat dak in Nederland. We zijn er van uitgegaan dat grootschalige toepassing betekent dat minstens de helft van dit oppervlak wordt aangepast. Hier hebben we nog een correctie op toegepast van 74%, omdat niet alle platte daken in stedelijk gebied zullen zijn (74% van de Nederlanders woont in stedelijk gebied, PBL).</p>
DROOGTE	Uit GIS-analyses halen we de totale lengte kwetsbare infrastructuur en het aantal panden met potentiële funderingsschade.

KOSTEN VAN MAATREGELEN BEREKENEN	
TOENAME NEERSLAG	Met kostenkengetallen uit de Kennisbank van stichting RIONED en ervaringscijfers hebben we de kosten van de maatregelen bepaald voor de 23 rekengemeenten. Voor elke gemeente kwam hier een ander maatregelenpakket uit, gebaseerd op de opgave en mogelijke maatregelen in die gemeente. De kosten hebben we op basis van het oppervlak van de 23 gemeenten omgerekend naar de landelijke kosten.
HITTESTRESS	Uit verschillende studies halen we een wijde spreiding aan kosten voor de aanleg van groene en witte daken. Wij zijn uitgegaan van de grootschalige aanleg op platte daken en zijn daarom aan onderkant van de genoemde bedragen gaan zitten. Onze aangenomen gemiddelde vierkante meter aanlegprijs voor witte daken is 15 euro per vierkante meter en voor groene daken is dit 40 euro per vierkante meter. We hebben aangenomen dat er een gelijke spreiding is van witte en groene daken.
DROOGTE	Voor de kosten van DIT-riolen zijn prijzen uit eerdere studies gebruikt (Sweco, 2018). Voor de kosten van funderingsherstel is hetzelfde bedrag gebruikt als in veel andere studies (bijvoorbeeld Deltares, 2012), waarbij we enkele funderingsherstelbedrijven hebben gebeld om te testen of zij dit bedrag ook gangbaar achten.

OPMERKING

We hebben geprobeerd de berekende schadebedragen te toetsen aan werkelijke schadebedragen. In publicaties van het Verbond van Verzekeraars vinden we veel lagere schadebedragen voor wateroverlast, maar deze schadebedragen gaan enkel over de particuliere schades die zijn geclaimd. Hierdoor kunnen we alleen stellen dat nader onderzoek nuttig is. We horen vanuit de praktijk relatief weinig gevallen van funderingsschade. Hierdoor is het lastig om de berekende schade te toetsen aan de praktijk. Potentieel is het een heel groot probleem, want op basis van criteria voor zettingsgevoelige gebieden komen we al op ongeveer 1.000.000 risicovolle panden. Ook kijken we alleen nog naar houtenpaalfundering, terwijl er ook schade kan optreden bij panden die op staal zijn gefundeerd. Ook over hittestress wordt in de praktijk weinig gerapporteerd.

Sweco ontwerpt en ontwikkelt de samenlevingen en steden van de toekomst. Ons werk leidt tot duurzame gebouwen, efficiënte infrastructuur en toegang tot elektriciteit en schoon water. Met 15.000 medewerkers in Europa, bieden wij onze klanten voor elke situatie de juiste expertise. Wij voeren jaarlijks projecten uit in 70 landen verspreid over de hele wereld. Sweco is Europa's grootste ingenieursadvies- en architectenbureau, met een omzet van circa 1,8 miljard euro en is genoteerd aan de Nasdaq Stockholm.