TNO innovation for life

Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving

Hittestress, Funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien

TNO Public ⟩ TNO 2026 R10004

19 december 2026

ICT, Strategy & Policy
www.tno.nl
+31 88 866 00 00
info@tno.nl

TNO 2026 R10004 – 19 december 2026

Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving

Hittestress, Funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien

Auteurs	Yashvant Premchand, Kevin Vedder, Samuel de Vries & Pieter Verstraten
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public
Rapporttekst	TNO Public
Aantal pagina's	135 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0
Met bijdragen van:	Norman Egter van Wissekerke, Chris Geurts, Pim van den Helm, Piet Jacobs, Kay Koster, Caroline Schipper-Rodenburg

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Inhoudsopgave

1 Samenvatting 4
2 Inleiding 7
3 Gebouwde omgeving 8
3.1 Afbakening gebouwde omgeving 8
3.2 Verantwoordelijkheden en wetgeving 8
4 Bodemdaling en funderingsschade 13
4.1 Klimaatrisicoanalyse 13
4.1.1 Blootstelling 16
4.1.2 Gevoeligheid 20
4.2 Adaptatiemaatregelen 21
4.2.1 Adaptatiemaatregelen huidige beleid 21
4.2.2 Adaptatiemaatregelen toekomstig beleid 24
4.3 Impact 28
5 Acute wateroverlast door piekbuien 31
5.1 Inleidend 31
5.2 Klimaatrisicoanalyse 32
5.2.1 Neerslag neemt toe en wordt extremer 34
5.2.2 Lange periodes van neerslag of droogte 41
5.2.3 Blootstelling 41
5.2.4 Gevoeligheid 42
5.3 Impact 53
5.3.1 Aandeel getroffen panden bij twee typen buien 53
5.3.2 Financiële impact 55
5.3.3 Schimmelvorming 56
5.4 Adaptatiemaatregelen acute wateroverlast 56
5.4.1 Adaptatie in het huidige beleid 56
5.4.2 Mogelijke adaptatiemaatregelen voor acute wateroverlast 58
5.4.3 Impact na implementatie adaptatiemaatregelen 64
6 Hittestress: impact op de binnenruimte 66
6.1 Inleidend 66
6.2 Klimaatdreiging: hittegolven nemen toe in frequentie en intensiteit 68
6.3 Adaptatiemaatregelen 73
6.3.1 Adaptatie in het huidige beleid 73
6.3.2 Mogelijke adaptatiemaatregelen voor hittestress 75
6.4 Blootstelling 78
6.4.1 Regionale verschillen in blootstelling 79
6.4.2 Lokale verschillen in blootstelling: het stedelijk hitte eiland effect 80
6.4.3 Blootstelling in de verschillende context- en adaptatiescenario's 83
6.5 Gevoeligheid 84
6.5.1 Gevoeligheid van bewoners voor hittestress en thermisch discomfort 84
6.5.2 Het kwantificeren van gevoeligheid voor oververhitting 85
6.5.3 Gevoeligheid voor hittestress door verschillen in regionaal klimaat 87
6.5.4 Gevoeligheid voor hittestress door het stedelijk hitte eiland effect 87
6.5.5 Gevoeligheid voor hittestress door risicoverhogende gebouwkenmerken 89

6.5.6 Gevoeligheid voor spuigedrag van de bewoner 91
6.6 Impact 93
6.6.1 Aanpak impactstudie 93
6.6.2 Resultaten van de impactstudie: oververhitting bij de verschillende context- en beleidsscenario's 96
6.6.3 Oververhitting in het heden (referentiescenario) 98
6.6.4 Impact bij contextscenario 'beperkt risicoverhogend' en adaptatiescenario 'huidig beleid' 99
6.6.5 Impact bij contextscenario 'sterk risicoverhogend' en adaptatiescenario 'huidig beleid' 102
6.6.6 Impact bij contextscenario 'beperkt risicoverhogend' en adaptatiescenario 'intensiveren' 103
6.6.7 Impact bij contextscenario 'sterk risicoverhogend' en adaptatiescenario 'intensiveren' 105
6.6.8 Impact bij contextscenario 'beperkt risicoverhogend' en adaptatiescenario 'transformeren' 106
6.6.9 Impact bij contextscenario 'sterk risicoverhogend' en adaptatiescenario 'transformeren' 108
7 Sociaaleconomische analyse 109
7.1 Sociaaleconomische ongelijkheid 109
7.1.1 SES en bodemdaling 110
7.1.2 SES en piekbuien 113
7.1.3 SES, fysieke broosheid, en hittestress 115
7.1.4 Sociaal-culturele effecten 116
7.2 Economische baten van klimaatadaptatie 117
7.3 Kostenverdeling 119
8 Conclusie 121
Referenties 124

1 Samenvatting

In reactie op de toenemende klimaatrisico's heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) aan TNO gevraagd om de effecten van klimaatverandering op de gebouwde omgeving in Nederland te onderzoeken. Deze studie vormt een bouwsteen voor de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS), en richt zich specifiek op drie risico's: bodemdaling en funderingsschade; acute wateroverlast door piekbuien; en hittestress, met bijzondere aandacht voor het binnenmilieu van woningen. Onderstaand vatten we de belangrijkste bevindingen samen.

Klimaatverandering leidt tot risico's voor de gebouwde omgeving als gevolg van droogte, bodemdaling en pieken in neerslag. Droogte tast funderingen aan, bodemdaling leidt tot schade aan infrastructuur en hevige piekbuien veroorzaken wateroverlast in steden. De verwachte schade loopt de komende eeuw op tot tientallen miljarden euro's. Tot nu toe ligt de nadruk op technische oplossingen als vergroening, drainage en funderingsherstel. Nederland kan dat, maar in toenemende mate krijgt het sociaaleconomische aspect ook steeds meer aandacht: wie betaalt, wie profiteert en hoe behouden we draagvlak? Daarmee is klimaatadaptatie niet alleen een technische, maar ook een sociaaleconomische opgave.

Klimaatverandering zorgt voor een toenemend risico op hittestress in de gebouwde omgeving. Door stijgende temperaturen en een toename in de frequentie en intensiteit van hittegolven neemt oververhitting in woningen substantieel toe. In het heden is er in zo'n 35% van de bestaande appartementen in Nederland sprake van zeer grote oververhitting. Zonder aanvullend beleid zal dit aandeel in 2050 toenemen tot zo'n 41-57%. Hittestress beïnvloedt niet alleen het thermisch comfort, maar heeft ook gevolgen voor gezondheid, slaapkwaliteit, welzijn en productiviteit van bewoners.

De blootstelling aan bodemdaling en piekbuien is groot, vooral in het westen, noorden, rivierengebied en perifere regio's. Bodemdaling kan de komende eeuw tot tientallen centimeters oplopen en legt een grote druk op de infrastructuur en openbare ruimte. Funderingsschade manifesteert zich daar waar de kwaliteit en het onderhoud van funderingen tekortschieten. Een piekbui kan overal in Nederland schade veroorzaken, waarbij reliëf, verhardingsgraad en gebouwontwerp de gevoeligheid bepalen. Vooral in grote steden in de Randstad, maar ook in regio's als Oost-Drenthe/Groningen en Zuid-Limburg, kruisen een hoge blootstelling en sociale kwetsbaarheid elkaar.

Voor hittestress is de blootstelling met name hoog in stedelijke gebieden en in de warmere regio's in het oosten en zuiden. In steden leidt het stedelijk hitte-eilandeffect tot hogere nachttemperaturen. In het oosten en zuiden van het land is sprake van een warmer regionaal klimaat. Ook de kenmerken van bestaande woningen zijn bepalend voor de bloostelling van bewoners: de mate zontoetreding (zonwering, beglazing), isolatie, ventilatiemogelijkheden en het woningtype (met name appartementen en bovenwoningen). Regionale verschillen, lokale gebiedsinrichting en gebouwtypologie zorgen ervoor dat hittestress zeer ongelijk over Nederland is verdeeld.

Onduidelijke verantwoordelijkheden maken dat bewoners vaak tussen wal en schip vallen bij schade door klimaatrisico's. Formeel ligt de zorg voor waterbeheer op het eigen perceel en onderhoud van de fundering bij de woningeigenaar, voor riolering en grondwater bij

de gemeente, en voor peilbeheer bij de waterschappen. Rijk en provincies stellen vooral kaders en regels vast. In de praktijk wijzen partijen vaak naar elkaar waardoor huishoudens met schade geen duidelijk handelingsperspectief hebben. Het huidige beleid is daarmee sterk gefragmenteerd en technisch van aard, terwijl juist de sociaaleconomische dimensie en het handelingsperspectief onderbelicht blijft.

Technische adaptatiemaatregelen zijn noodzakelijk, maar alleen financiële en sociaaleconomische interventies maken klimaatadaptatie haalbaar. Nederland beschikt over een breed scala aan technische opties, zoals drainage- en infiltratiesystemen, het voorbelasten van de bodem, funderingsherstel, het vergroten van de infiltratiecapaciteit en het vergroten van de rioolcapaciteit. Ook voor hittestress bestaat er een groot scala aan maatregelen (zonwering, groene daken, venitlatieluiken, etc). Technisch zijn deze oplossingen haalbaar en uitvoerbaar, maar bij de financiering loopt het vaak spaak. Effectieve adaptatie vraagt om financiële instrumenten die de kosten en baten gelijker verdelen, zoals subsidies voor funderingsonderzoek, subsidies voor zonwering aan gebouw eigenaren, fondsen voor herstel en afspraken over verdeling van de meerkosten bij nieuwbouw.

Een effectieve aanpak van hittestress vraagt om een integrale benadering, waarin gebouwmaatregelen, stedelijke inrichting, gezondheidsdoelen en energiebeleid met elkaar worden verbonden. Alleen door hittestress expliciet mee te nemen in klimaatadaptatie-, woon- en gezondheidsbeleid kan de leefbaarheid van de gebouwde omgeving ook in een warmer klimaat worden gewaarborgd.

Door grootschalige toepassing van gebouwmaatregelen kan toenemende hittestress in de gebouwde omgeving worden beperkt. Dit vraagt echter ingrepen in honderdduizenden tot meer dan een miljoen woningen. Het huidige beleid voor hittestress is gefragmenteerd en kent beperkte normstelling en verantwoordelijkheidsverdeling. Dit belemmert grootschalige en preventieve toepassing van maatregelen in het bestaande woningbestand. Grootschalige toepassing van technische klimaatadaptatiemaatregelen vereist structurele verankering van hittestress in regelgeving, bouw- en renovatiestandaarden en woningkwaliteitsbeleid gericht op de bestaande woningvoorraad.

Bij effectief beleid tegen hittestress in woningen is expliciete aandacht nodig voor sociaaleconomische verschillen. Kwetsbare groepen wonen relatief vaak in woningen met een verhoogd risico op oververhitting, hebben minder mogelijkheden om zelf maatregelen te treffen en zijn hier veelal voor afhankelijk van verhuurders. Gericht beleid, waarbij ondersteuning en financiering worden afgestemd op draagkracht, is essentieel om te voorkomen dat gezondheidsrisico's en ongelijkheid verder toenemen.

Aanvullend beleid gericht op het verminderen van het stedelijk hitte-eilandeffect (SHE) is van groot belang om hittestress structureel te beperken, met name in stedelijke gebieden. Dit rapport laat zien dat juist in delen van Zuidoost-Nederland gemeenten te maken hebben met een ongunstige combinatie van een warmer regionaal klimaat, een sterk stedelijk hitte-eilandeffect en een relatief hoge sociaaleconomische kwetsbaarheid van bewoners. Het huidige rijksbeleid is vooral richtinggevend van aard en laat veel ruimte aan gemeenten om eigen afwegingen te maken. Hierdoor ontstaat het risico dat juist gemeenten met de grootste opgave en de minste capaciteit achterblijven.

Bewustwording is cruciaal. Bewoners en kopers moeten beter geïnformeerd worden over de risico's. Publieke kaarten die de risico's op lokaal niveau zichtbaar maken, woningonderzoek bij aan- of verkoop van de woning, de rol van makelaars en financiers in het beter onderzoeken van de financiële risico's en de taak van de overheid om alle informatie

transparant te ontsluiten kunnen hier een grote rol in spelen. Uit onderzoek blijkt dat bewuste woningkopers rekening houden met de risico's door een lagere prijs voor de woning te betalen. Transparante informatie en bewustwording zorgen er dus voor dat marktwerking voor een groot deel corrigeert voor de risico's.

Naast financiële verschillen speelt de sociaal-culturele context een belangrijke rol. Onderzoek laat zien dat sociale normen en identiteiten sterk bepalen of mensen klimaatrisico's erkennen en maatregelen nemen. In omgevingen waar klimaatadaptatie de norm is, groeit het bewustzijn; in groepen waar scepsis overheerst, wordt bewijs juist afgewezen. Deze dynamiek is vaak gekoppeld aan sociaaleconomische onzekerheid, zoals in rurale en minder welvarende regio's. Beleidsinterventies moeten daarom niet alleen financiële steun bieden, maar ook inspelen op sociale normen en lokaal vertrouwen.

Klimaatrisico's en sociaaleconomische kwetsbaarheid kruisen elkaar op wijkniveau. Een deel van de klimaatrisico's manifesteert zich in wijken met een lage sociaaleconomische status (weinig vermogen, laag opleidingsniveau en geringe arbeidshistorie), vooral in de grote steden, Oost-Drenthe/Groningen en Zuid-Limburg. Elders in Nederland komen de risico's ook voor, maar deze wijken worden juist gekenmerkt door een hoge sociaaleconomische status. Onderzoek toont aan dat ongelijkheid tussen groepen kan toenemen als vooral de meer welvarende bewoners profiteren van financiële maatregelen. Terwijl deze groep mensen vaak een grote buffer heeft om zelf maatregelen te treffen en minder snel in financiële problemen zal komen. Effectief beleid moet daarom differentiëren naar sociaaleconomische status zodat niet de sterkste schouders de meeste steun ontvangen.

Nieuwbouw vergt een nauwkeurige afweging tussen de lokale kosten van klimaatadaptatie en economische baten van agglomeratie. Grote steden worden weliswaar gekenmerkt door verschillende klimaatrisico's, maar de economische baten van een hogere productiviteit voor bedrijven, hogere lonen en de aanwezigheid van (culturele) voorzieningen zijn hier vaak veel hoger dan de investeringskosten van klimaatadaptatie. Als je deze som uitrekent, zie je dat de netto baten vaak nog steeds veel hoger liggen dan in gebieden zonder klimaatrisico's. Kortom, beperk de bouw in rurale, diepe polders waar de economische baten laag zijn en richt het beleid op verdichting in bestaande steden en het versterken van hun agglomeratiekracht.

Kostenverdeling is de kern van het vraagstuk. Adaptatie vraagt investeringen door overheden en ontwikkelaars op de korte termijn, terwijl baten pas op lange termijn zichtbaar worden en verspreid terechtkomen. Dit verklaart waarom veel maatregelen nu niet van de grond komen. Nieuwe mechanismen zijn nodig om de lusten en lasten evenwichtiger te verdelen. Meervoudige businesscases, beter inzicht in de kosteneffectiviteit en het belasten van baten kunnen hierbij richting geven.

Klimaatadaptatie in de gebouwde omgeving vraagt om keuzes die verder gaan dan techniek alleen. Nederland kan veel voor elkaar krijgen, maar de echte vragen zijn wie de kosten draagt, hoe we deze anders kunnen verdelen en hoe we het draakvlak kunnen vergroten. We kunnen onze steden pas op een toekomstbestendige wijze inrichten als de verantwoordelijkheden helder zijn en de financiële prikkels aansluiten bij de draagkracht van huishoudens en betrokken partijen.

2 Inleiding

Klimaatverandering dwingt ons niet alleen tot het verminderen van broeikasgasemissies, maar ook tot het aanpassen van de fysieke leefomgeving waarin we wonen. Toenemende overstromingsrisico's, hevigere piekbuien, warmere zomers en langdurige droogte hebben ingrijpende gevolgen voor het maatschappelijke welzijn. De extreme hoosbui in Enschede in 2024, waarbij in één klap zestig gezinnen hun woning verloren, is daarvan een scherp voorbeeld. Aan de andere kant van het spectrum leidt aanhoudende droogte tot funderingsschade bij duizenden woningen in Nederland. Ook hittestress laat zich steeds nadrukkelijker voelen: tijdens de hittegolf van 2020 steeg het wekelijkse sterftecijfer met circa 400 extra sterfgevallen (NOS, 2020). Deze gebeurtenissen lijken op zichzelf staand, maar leggen gezamenlijk bloot hoe kwetsbaar onze gebouwde omgeving is — en hoe beperkt de speelruimte wordt om klimaatrisico's af te wentelen op toekomstige generaties zonder ingrijpende ruimtelijke keuzes.

In reactie op deze toenemende urgentie heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) aan TNO gevraagd om de effecten van klimaatverandering op de gebouwde omgeving in Nederland te onderzoeken. Vervolgens brengen we in kaart welke adaptatiemaatregelen effectief blijken om de gebouwde omgeving op de toekomst aan te passen. Deze studie vormt een bouwsteen voor de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS), en richt zich specifiek op drie risico's: bodemdaling en funderingsschade, acute wateroverlast door piekbuien en hittestress. De overige klimaatrisico's en de gevolgen daarvan zijn belegd bij andere onderzoeksorganisaties waar we nauw mee samenwerken.

Dit rapport heeft drie doelen. Ten eerste brengen we de omvang van de belangrijkste risico's in kaart: waar in Nederland is de gebouwde omgeving blootgesteld en hoe kwetsbaar zijn deze gebouwen? Ten tweede onderzoeken we welke adaptatiemaatregelen effectief zijn om de schade te beperken. Ten derde kijken we naar de sociaaleconomische dimensie: hoe worden de kosten verdeeld, wie dragen de lusten en lasten, en welke maatschappelijke factoren bepalen of adaptatiemaatregelen ook daadwerkelijk van de grond komen.

Het rapport is als volgt opgebouwd. We beginnen met een afbakening van wat we verstaan onder de gebouwde omgeving en een overzicht van de huidige rollen, verantwoordelijkheden en veiligheidsnormen. Vervolgens analyseren we per risico de relatie tussen klimaat en schade: hoe ontstaat het probleem, welk deel van de gebouwde omgeving is blootgesteld en hoe gevoelig zijn de gebouwen hiervoor. Daarna bespreken we de meest kansrijke adaptatiemaatregelen, variërend van technische ingrepen tot financiële en sociale instrumenten. Tot slot trekken we conclusies en geven we aanbevelingen voor beleid en vervolgonderzoek. Elk hoofdstuk begint telkens met een korte samenvatting van de belangrijkste conclusies uit dat hoofdstuk.

Uit onze resultaten blijkt dat het huidige beleid zich nog vooral richt op technische maatregelen. Technisch kan Nederland veel, maar de kernvraag is hoe de maatregelen worden gefinancierd, wie de lasten draagt en hoe draagvlak en bewustzijn worden vergroot. Dit rapport verschuift daarom de blik van technische oplossingen naar het bredere sociaaleconomische perspectief. Daarmee willen we niet alleen de feiten in kaart brengen, maar ook richting geven aan het maatschappelijke debat en de beleidskeuzes die de komende jaren onvermijdelijk zijn.

3 Gebouwde omgeving

Op hoofdlijnen:

- Er bestaat een collectieve verantwoordelijkheid voor het beperken van de schade door klimaatrisico's, waarbij zowel een rol belegd is voor overheden als (woning)eigenaren.
- De huidige aanpak van bodemdaling en funderingsschade is vooral technisch van aard en richt zich op het reguleren van grondwaterstanden en het herstellen van schade.
- De huidige aanpak van acute wateroverlast is zowel technisch als ruimtelijk van aard, waarbij gewerkt wordt richting de huidige normering dat binnen de gebouwde omgeving bij nul procent van het maaiveld een waterstand van meer dan twintig centimeter mag voorkomen bij een bui die eens in de honderd jaar voorkomt.

3.1 Afbakening gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving zoals deze geanalyseerd is in dit onderzoek, is gekaderd in een voorafgaand onderzoek (TNO, 2024). Hierin is de gebouwde omgeving gedefinieerd bestaande uit de volgende drie componenten:

1. Gebouwen: fysieke gebouwen, waaronder woningen, bedrijven en openbare gebouwen.
2. Buitenruimte: publieke ruimte in steden, zoals parken en groen, straten en pleinen.
3. Leefbaarheid: comfort en welbevinden van inwoners in relatie tot hun leefomgeving en klimaatrisico's.

In ieder van de drie klimaatrisico onderwerpen (hittestress, bodemdaling en funderingsschade en waterschade) ligt de nadruk op andere componenten van de gebouwde omgeving. Bij hittestress is de focus van dit onderzoek beperkt tot de leefbaarheid van het binnenmilieu binnen gebouwen. Bij water- en funderingsschade en schade door bodemdaling ligt de nadruk op de onderdelen 'gebouwen' en 'buitenruimte'. Voor deze klimaatrisico's wordt gekeken naar wat de impact van deze risico's op de gebouwen is, terwijl er voor het beleid en de adaptatiemaatregelen gekeken wordt naar oplossingsrichtingen in en aan de gebouwen én in de buitenruimte. Bij adaptatiemaatregelen aan gebouwen wordt hier gekeken vanuit het perspectief van woningen, met daarbij wel de kanttekening dat veel (technische) maatregelen hier wel te repliceren zijn naar andere typen gebouwen.

3.2 Verantwoordelijkheden en wetgeving

We weten dat bodemdaling, funderingsschade en acute wateroverlast tot hoge kosten leiden, maar vaak heerst er veel onduidelijkheid over de rollen, plichten en verantwoordelijkheden. Getroffen woningeigenaren weten niet bij welke instanties ze moeten aankloppen bij schade en verschillende overheidslagen wijzen naar elkaar als het op concrete oplossingen aankomt. In werkelijkheid is de situatie ook heel complex omdat er zoveel verschillende partijen betrokken zijn.

Tabel 3.1 laat op een overzichtelijke manier de huidige stand van zaken zien, gebaseerd op KBF (2022b). We richten ons hier alleen op bodemdaling in de ondiepe ondergrond, wat betekent dat we schade door mijnbouw en gaswinning niet meenemen. In het noorden van Nederland kan dit wel leiden tot een stapeling van de effecten. In algemene zin is de verantwoordelijkheid voor het beperken van de schade door klimaatrisico's een collectieve verantwoordelijkheid, met hierbinnen een rol voor zowel overheden als (woning)eigenaren (Ambient, 2020).

Allereerst heeft de private woningeigenaar zelf een grote verantwoordelijkheid. De woningeigenaar is verantwoordelijk voor het water- en bodembeheer op het eigen perceel, inclusief het regelen van een afvoervoorziening voor hemelwater en afvalwater. Ook is zij verantwoordelijk voor het onderhoud van haar woning en zij dient te voldoen aan de regels die in het Omgevingsplan zijn vastgesteld. Eventuele kabels en leidingen op het perceel van de woningeigenaar zijn ook haar verantwoordelijkheid.

Vervolgens heeft de gemeente ook een grote verantwoordelijkheid voor het water- en bodembeheer in de fysieke leefomgeving. Bij hemelwater is het uitgangspunt dat de perceeleigenaar eerst verantwoordelijk is om het water in de bodem of het oppervlaktewater te bergen, maar alleen in hoeverre zij dit ook kan. Daarna wordt het de verantwoordelijkheid van de gemeente. Verder is de gemeente verantwoordelijk voor het afvoeren van hemelwater in de openbare ruimte (Rijksoverheid, 2025). In eerste instantie heeft de gemeente ook een grondwatertaak, waarin staat dat "de gemeente in het openbare gebied maatregelen moet treffen om structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand aan de fysieke leefomgeving zoveel mogelijk te voorkomen of beperken." Daarnaast is de gemeente ook verantwoordelijk voor de aanleg, het beheer en onderhoud van het gemeentelijke rioleringssysteem. Zij draagt daar ook een groot deel van de kosten van, die worden gefinancierd via gemeentelijke heffingen.

De gemeente speelt een grote rol in de openbare ruimte. Het beheer en onderhoud van openbare wegen is de verantwoordelijkheid van de gemeenten, met uitzondering van provinciale en rijkswegen. Ook de stedelijke openbare ruimte valt onder de verantwoordelijkheid van de gemeente. Daarbij heeft de gemeente ook een belangrijke regulerende taak zoals het opstellen van regels via het Omgevingsplan. Hierin kan bijvoorbeeld worden vastgesteld dat er niet meer mag worden gebouwd in gebieden die heel gevoelig zijn voor bodemdaling.

Daarnaast hebben de waterschappen ook een belangrijke rol. Zij zijn verantwoordelijk voor het beheer van het regionale watersysteem en het peilbeheer van het oppervlaktewater in zowel het stedelijke als het landelijke gebied. Daarmee is zij ook uiteindelijk het bevoegd gezag over grondwateronttrekking. Ook speelt het waterschap een rol in de watertoets, zij heeft daarin een adviserende rol.

Tabel 3.1. Rollen, plichten en verantwoordelijkheden.

Plicht	Privaat	Gemeente	Waterschap	Overig
Water- en bodembeheer	Eigen perceel en woning	Fysieke leefomgeving	• Regionaal watersysteem • Peilbeheer oppervlakte-water zowel stedelijk als landelijk	
Hemelwater	• Verplichte afvoer-voorziening hemelwater • Zelf verwerken als dat mogelijk is	Hemelwatertaak	Afwatering	
Grondwater	Plicht voor eigen perceel	Grondwatertaak	Bevoegd gezag grondwater-onttrekking	
Afvalwater	Afvoervoorziening huishoudelijk afvalwater	Ontwerp, beheer en onderhoud gemeentelijke riolering	Zuivering afvalwater	
Ruimtelijke inrichting	Zorgplicht bouwwerk en perceel, inclusief voldoen aan regels Omgevingsplan	• Beheerder van fysieke leefomgeving • Beheer gemeentelijke wegen en stedelijke openbare ruimte	Zorgplicht eigen grond en bouwwerken	Provincie en rijk hebben een zorgplicht voor eigen grond, wegen en bouwwerken
Kabels, nutsvoorzieningen en overige leidingen	Zorgplicht eigen kabels en leidingen	Zorgplicht eigen kabels en leidingen		Nutsbedrijven dragen een zorgplicht voor eigen kabels en leidingen (gas-, elektriciteits-, en drinkwaterwet)
Regulatie		• Regels opstellen via Omgevingsplan • Verplicht wegen waterbelang (watertoets)	Advies wegen waterbelang (watertoets)	Provincies en rijk stellen instructieregels op

Hittestress wijkt af van andere klimaatrisico's in de gebouwde omgeving doordat het directe effecten heeft op comfort, gezondheid en het dagelijks functioneren van bewoners. Het risico wordt bepaald door een samenhang van ruimtelijke inrichting, gebouwkenmerken en de sociale en fysiologische kenmerken van bewoners. Hierdoor is de verdeling van verantwoordelijkheden diffuser dan bij risico's die leiden tot fysieke schade aan gebouwen of

infrastructuur. De aanpak van hittestress vraagt om samenhang tussen ruimtelijk beleid, bouwregelgeving, gezondheidsbeleid en acties van (private) gebouweigenaren, waarbij verantwoordelijkheden zijn verdeeld over meerdere bestuurslagen en private actoren. Dit leidt tot een spanning tussen de publieke verantwoordelijkheid voor gezondheid en leefbaarheid en de private verantwoordelijkheid voor het aanpassen van woningen.

De verantwoordelijkheid van het Rijk ligt primair bij het scheppen van randvoorwaarden voor de aanpak van hittestress. Dit omvat het vaststellen van normen en richtlijnen (zoals eisen aan oververhitting in nieuwbouw), het faciliteren van kennisontwikkeling en monitoring, en het bieden van financiële mogelijkheden of prikkels. Daarnaast heeft het Rijk een regierol in het verbinden van klimaatadaptatie en volksgezondheid, onder meer via het Nationaal Hitteplan en de coördinatie van onderzoek. Voor bestaande woningen is de rol van het Rijk vooralsnog vooral kader stellend en stimulerend; juridisch afdwingbare verplichtingen ontbreken grotendeels. Hierdoor ligt de verantwoordelijkheid voor feitelijke adaptatie in hoge mate bij gebouweigenaren en lokale overheden, wat kan leiden tot een mismatch tussen nationale ambities en lokale uitvoeringskracht.

Provincies vervullen een coördinerende en faciliterende rol, met name via regionale afstemming en ondersteuning van gemeenten. Hun invloed op hittestress is vooral indirect en loopt via ruimtelijke ordening, natuur- en landschapsbeleid en regionale adaptatiestrategieën. Gemeenten hebben een centrale uitvoerende rol. Zij zijn verantwoordelijk voor de inrichting van de openbare ruimte, stedelijke vergroening en lokale ruimtelijke keuzes die het stedelijk hitte-eilandeffect beïnvloeden. Daarnaast werken zij klimaatadaptatiestrategieën en stresstesten uit, waaronder voor hittestress, en kunnen zij subsidies verstrekken voor adaptatiemaatregelen aan gebouwen en percelen. Via grondbeleid en tenders kunnen gemeenten sturen bij nieuwbouw, maar hun mogelijkheden om maatregelen in bestaande gebouwen af te dwingen zijn beperkt.

Volksgezondheidsinstellingen spelen een essentiële rol in het signaleren en duiden van de gezondheidsimpact van hittestress. Het RIVM is verantwoordelijk voor landelijke kennisontwikkeling, monitoring en advisering, onder andere via het Nationaal Hitteplan en epidemiologisch onderzoek. GGD'en zijn verantwoordelijk voor de regionale en lokale uitvoering van hittepreventie, zoals risicocommunicatie, ondersteuning van lokale hitteplannen en het bereiken van kwetsbare groepen. Zij beschikken echter niet over instrumenten om fysieke adaptatiemaatregelen af te dwingen.

Woningcorporaties dragen een bijzondere verantwoordelijkheid, omdat zij een groot deel van de kwetsbare woningvoorraad beheren en relatief veel huishoudens met een lage sociaaleconomische positie huisvesten. Hun verantwoordelijkheid ligt bij onderhoud en verduurzaming van woningen, waarbij hittestress nog beperkt expliciet wordt meegenomen. Het ontbreken van normering voor oververhitting in bestaande woningen maakt dat investeringen in hitteadaptatie concurreren met andere opgaven, zoals energieprestatie en betaalbaarheid.

Voor private verhuurders geldt dat zij juridisch verantwoordelijk zijn voor de kwaliteit van hun woningen, maar dat oververhitting slechts in uitzonderlijke gevallen als gebrek wordt erkend. Hierdoor is de prikkel om te investeren in maatregelen tegen hittestress beperkt, mede door het split-incentive waarbij kosten bij de verhuurder liggen en baten bij de huurder. Voor eigenaar-bewoners ligt de verantwoordelijkheid voor adaptatie primair bij henzelf, maar verschillen in financiële mogelijkheden en bewustzijn zorgen ervoor dat niet alle huishoudens deze verantwoordelijkheid in gelijke mate kunnen dragen.

Samenvattend is de verantwoordelijkheid voor hittestress sterk versnipperd: publieke partijen zijn verantwoordelijk voor kaderstelling, ruimtelijke kwaliteit en gezondheidsbescherming, terwijl de feitelijke adaptatie in woningen grotendeels bij private partijen ligt. De effectiviteit van beleid tegen hittestress in woningen is daardoor in hoge mate afhankelijk van samenwerking en stimulering.

4 Bodemdaling en funderingsschade

Op hoofdlijnen:

- Bodemdaling komt voornamelijk voor in de kustgebieden, in het westen en noorden van Nederland en in het rivierengebied. Vooral het dichtbevolkte westen kent een grote blootstelling.
- Funderingsschade komt vooral in het westen en noorden van Nederland voor, en langs het rivierengebied. Lage grondwaterstanden zijn de voornaamste oorzaak (paalrot), maar bodemdaling kan ook een rol spelen (verschilzetting). De kosten tot 2050 kunnen oplopen tot meer dan €60 miljard.
- Het huidige beleid is vooral gericht op technische maatregelen, maar in toenemende mate rijst de vraag hoe we de adaptatiemaatregelen gaan financieren en het bewustzijn kunnen vergroten.
- Denk bij financiële maatregelen ook aan de verdelingseffecten. Een algemene subsidie kan juist de ongelijkheid vergroten als voornamelijk mensen met een groot vermogen hiervan profiteren.
- Het vergroten van het bewustzijn zorgt ervoor dat de markt een groot deel van de verwachte schade al verdisconteert in de woningprijzen. Mensen reserveren namelijk geldt voor de potentiële schade.

Bodemdaling is geen nieuw fenomeen in Nederland. Al eeuwenlang worden veen- en kleigronden ontwaterd om landbouw te faciliteren. Door de eeuwenlange bodemdaling zijn met name de veengebieden alleen nog maar geschikt voor grasgroei. Relatief lage grondwaterstanden maken het land toegankelijker voor landbouwvoertuigen, waardoor de productiviteit in de landbouw toeneemt (Pelsma et al., 2020). De lage grondwaterstanden houden bodemdaling in stand

De toenemende kans op droogte zorgt ervoor dat de processen die bodemdaling veroorzaken vaker kunnen voorkomen en worden versneld. Dit betekent dat bodemdaling wordt versterkt door toenemende droogte door klimaatverandering.

De gevolgen van bodemdaling zijn groot: woningeigenaren krijgen te maken met schade als verzakkende tuinen, scheuren in de muren en problemen met de fundering. Ook de openbare ruimte wordt geraakt met kabels en leidingen die breken, wegen die verzakken en rioleringen die beschadigen. Zowel private als publieke partijen worden daardoor opgezadeld met hoge kosten.

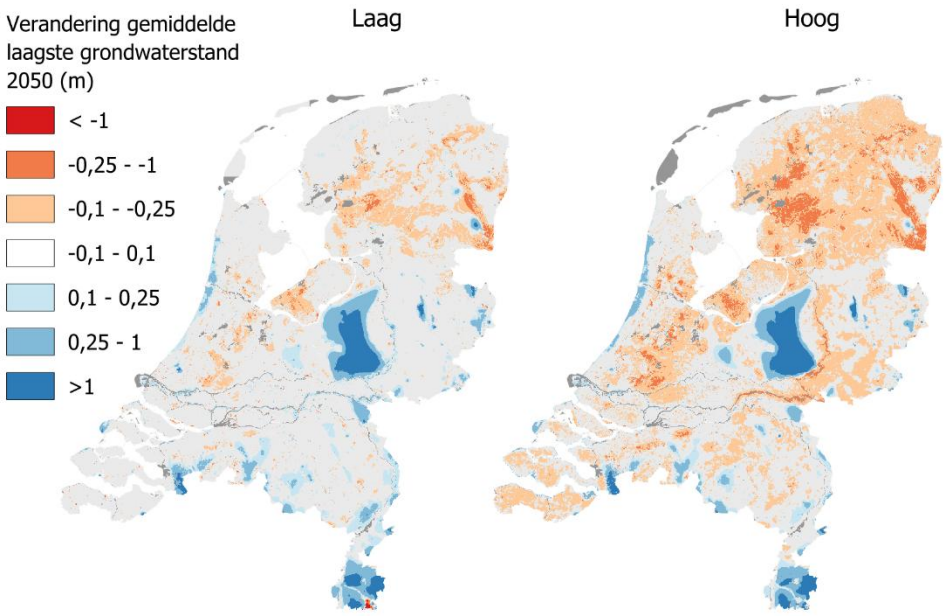
4.1 Klimaatrisicoanalyse

In dit onderdeel brengen we in kaart hoe bodemdaling en funderingsschade zich mogelijk ontwikkelen in de toekomst. Daarbij brengen we ook de blootstelling en gevoeligheid van de gebouwde omgeving in kaart.

Grofweg zijn er drie fysieke processen die bodemdaling in de ondiepe ondergrond veroorzaken: veenoxidatie, zetting van veen en klei, en krimp en zwel van veen en klei.

Veengronden bestaan veelal uit organisch materiaal (dode plantenresten die zijn samengedrukt), wat wegrot wanneer het in aanraking komt met zuurstof als de grondwaterstand daalt. Dalende grondwaterstanden zorgen er tegelijkertijd voor dat het volume in de bodem afneemt doordat veen- en kleilagen compacter worden door verlaging in de grondwaterdruk. Bovendien zorgen schommelingen in de grondwaterstand en bodemvocht ervoor dat het klei afwisselend droogt en vervolgens weer nat wordt. In droge periodes krimpt het klei, terwijl het weer uitzet als het nat wordt. De processen zijn weliswaar verschillend, maar hun gemene deler is de invloed van grondwaterstanden (Fokker et al., 2025; Van der Meulen et al., 2007).

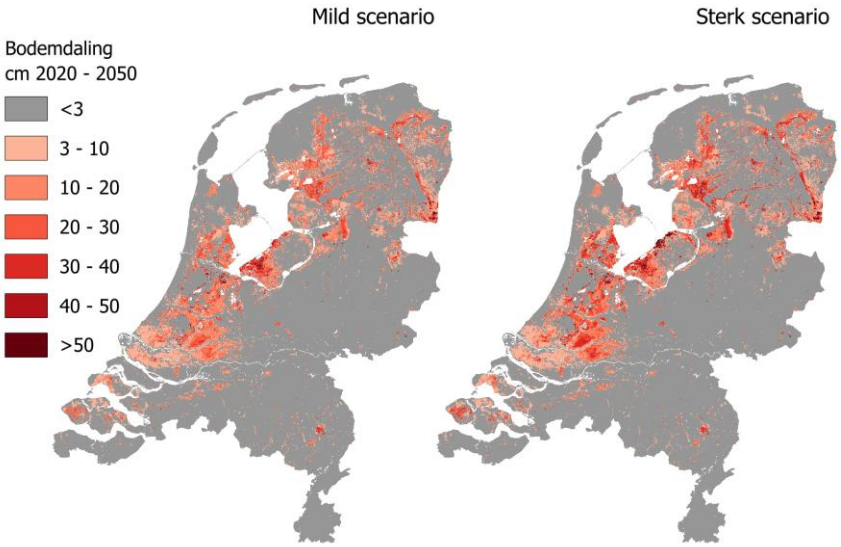
Hoewel het historische grondwaterbeleid een grote invloed uitoefent op de processen die bodemdaling veroorzaken, speelt klimaatverandering een steeds groter wordende rol. Toekomstige klimaatscenario's voor Nederland voorspellen zelfs langere en intensere periodes van droogte in vooral de zomermaanden, waardoor de processen die bodemdaling veroorzaken worden versneld bij het huidige grondwaterbeleid (Van Dorland et al., 2023). Figuur 4.1 toont de veranderingen in de gemiddelde laagste grondwaterstanden tot 2050. In het lage klimaatscenario beperken de effecten zich tot enkele gebieden in het Groene Hart en het noorden van het land. Maar in het hoge scenario zien we grondwaterdalingen van meer dan 25 centimeter in grote delen van het westen en noorden van Nederland.



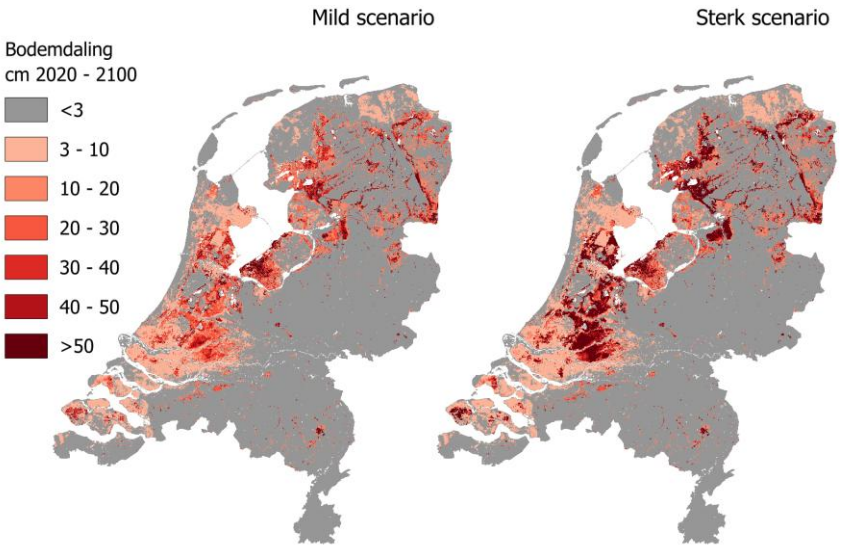
Figuur 4.1. Verandering in de gemiddelde laagste grondwaterstanden tot 2050 (data: Klimaateffectatlas).

In het verleden is de bodem al vele meters gedaald op verschillende plekken in Nederland, maar veel gebieden kunnen nog verder dalen in de komende decennia, afhankelijk van het gevoerde beleid (Erkens et al., 2016). Op basis van het grondwaterbeleid in het verleden, toekomstige grondwaterstanden, de dikte van de verschillende grondlagen en toekomstige klimaatscenario's heeft TNO Geologische Dienst Nederland (TNO GDN) gemodelleerd *waar* en *hoe snel* de bodem in de toekomst nog kan dalen. Tot 2050 zal de bodem vooral in de veengebieden in het Groene Hart en in het noorden van Nederland gaan dalen, zoals te zien is in Figuur 4.2. Daarbij ontstaat er weinig verschil in dalingssnelheden als we ook kijken naar

verschillende klimaatscenario's. Op de lange termijn zien we wel grote verschillen. Figuur 4.3 illustreert dat een veel groter deel van het westen van Nederland te maken krijgt met bodemdaling, waarbij de totale daling in veel gebieden meer dan 50 centimeter bedraagt tot 2100. Vooral in het sterke scenario zien we dat de dalingssnelheid toeneemt in het westen van het land. De sterke verschillen tussen de korte en de lange termijn kunnen deels worden verklaard door het feit dat de bodem meer tijd heeft om te dalen op de lange termijn.



Figuur 4.2. Bodemdaling tot 2050 voor verschillende klimaatscenario's.



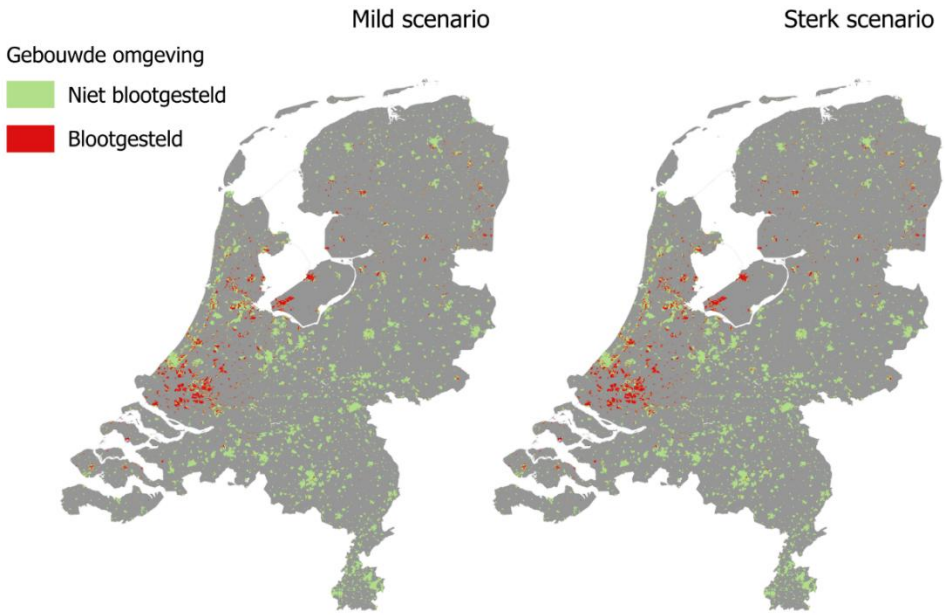
Figuur 4.3. Bodemdaling tot 2100 voor verschillende klimaatscenario's.

4.1.1 Blootstelling

Tot dusver hebben we voornamelijk gekeken naar de oorzaken van bodemdaling. In dit deel bekijken we welk deel van de gebouwde omgeving is blootgesteld. Bodemdaling leidt tot schade aan de openbare ruimte zoals verzakkende wegen, kabels en leidingen die breken geen en rioleringen die beschadigd raken. Voor woningeigenaren resulteert bodemdaling in verzakkende tuinen, nutskabels die breken en schade aan de fundering van de woning. Laatstgenoemde is veruit de grootste schadepost voor woningeigenaren en leidt tot hoge kosten. Tevens is bodemdaling niet de enige oorzaak van funderingsschade. Lage grondwaterstanden kunnen ook direct leiden tot schade aan de fundering. Daarom splitsten we de blootstelling op in twee onderdelen: bodemdaling en funderingsschade.

4.1.1.1 Bodemdaling

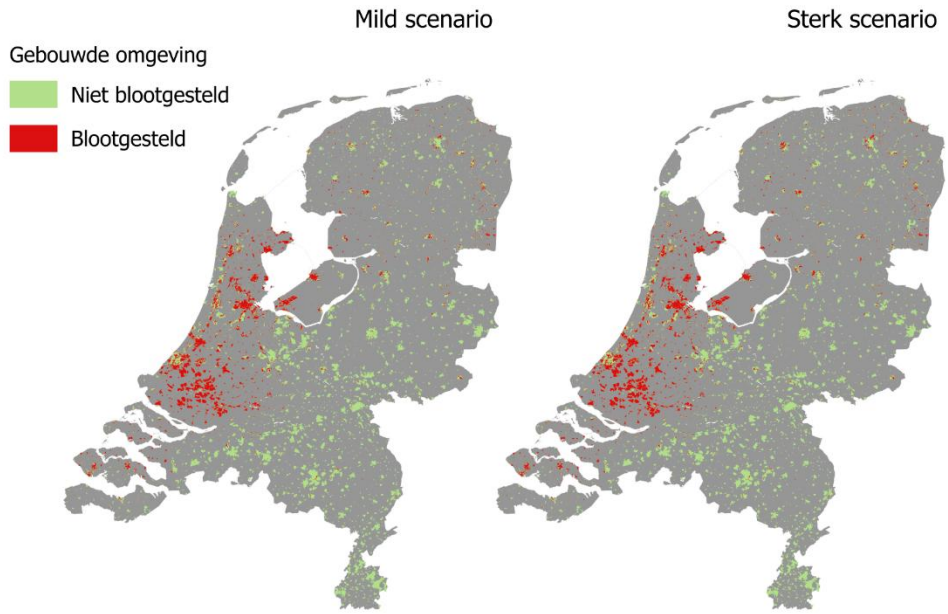
Een groot deel van de gebouwde omgeving in het westen van Nederland is blootgesteld aan bodemdaling. We hebben de bodemdalingskaarten van TNO GDN gekruist met data over de gebouwde omgeving en vervolgens hebben we de blootstelling tot 2050 in kaart gebracht, zoals te zien is in Figuur 4.4. Een belangrijke kanttekening die we hierbij moeten plaatsen is dat het om fictieve scenario's gaat. Het gaat hierbij niet om daadwerkelijk geobserveerde bodemdalingsmetingen, maar om voorspellingen onder mogelijke toekomstige scenario's. Uit deze analyse blijkt dat in zowel het milde als sterke klimaatscenario vooral de grote steden in de Randstad zijn blootgesteld. De bodemdalingskaarten lieten zien dat er ook veel bodemdaling kan plaatsvinden in het noorden van Nederland, maar dit gebied kent ook weinig bebouwing waardoor de blootstelling beperkt blijft. Tabel 4.1 toont aan dat in het milde scenario 16,7% van de gebouwde omgeving is blootgesteld aan bodemdaling. In het sterke scenario neemt dit toe naar 17,6%.



Figuur 4.4. Blootstelling gebouwde omgeving aan bodemdaling tot 2050.

Als we kijken naar de blootstelling tot 2100 in Figuur 4.5, dan zien we dat grote delen van Noord-Holland nu ook oplichten. De combinatie van dichte bebouwingen en intensere

bodemdaling op de lange termijn zorgt ervoor dat een groot deel van dit gebied wordt blootgesteld. Het aandeel van de gebouwde omgeving blootgesteld aan bodemdaling neemt toe naar 27,8% in het milde scenario. In het sterke scenario bedraagt dit zelfs 29,4%. Ook op de lange termijn geldt dat het noorden van Nederland gespaard blijft doordat dit gebied relatief dunbevolkt is ten opzichte van de rest van Nederland.



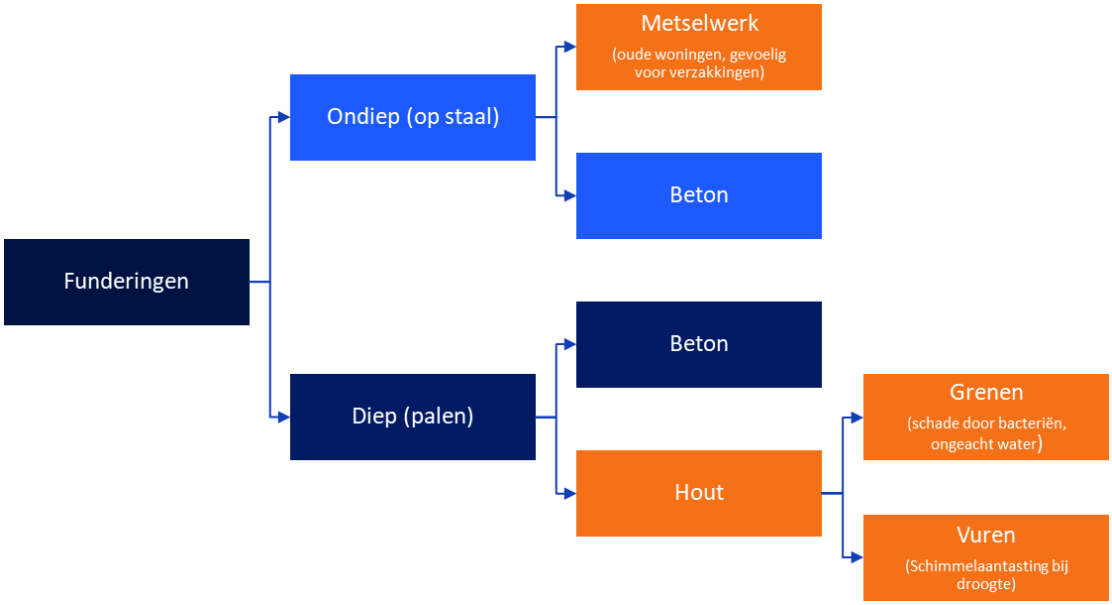
Figuur 4.5. Blootstelling gebouwde omgeving aan bodemdaling in 2100.

Tabel 4.1. Percentage gebouwde omgeving blootgesteld aan bodemdaling.

	2020-2050	2020-2100
Mild scenario	16,7%	27,8%
Sterk scenario	17,6%	29,4%

4.1.1.2 Funderingsschade

Funderingsschade kan door verschillende oorzaken ontstaan. Figuur 4.6 geeft schematisch weer welke typen voorkomen in Nederland. We beginnen met ondiepe funderingen (ook wel funderingen op staal genoemd). Dit zijn funderingen die geen gebruik maken van heipalen om het gewicht van de woningen naar diepe, stevige grondlagen over te dragen. De fundering draagt het gewicht van de woning over naar de bovenste grondlagen, wat tot problemen kan leiden als deze bestaan uit slappe veen- en kleigronden. Wanneer de bodem ongelijkmatig daalt onder de woningen, kan de fundering gaan vervormen en verzakken. Dit proces wordt ook wel *verschilzetting* genoemd (Rli, 2024). Figuur 4.7 laat zien waar het risico op verschilzetting in Nederland tot 2050 het grootst is. Voornamelijk het Groene Hart, het noorden van Noord-Holland en het noorden van Nederland kennen een groot risico op verschilzetting, omdat dit gebieden zijn met veel veen. Recentelijk hebben woningen in gebieden met klei ook problemen door verschilzettingen. Deze ontwikkelingen zijn nog beperkt verwerkt in de kaart.

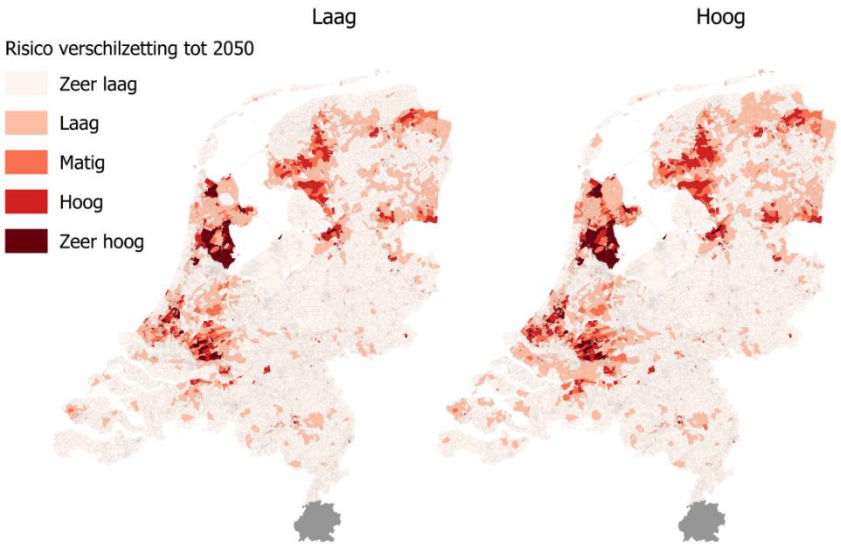


Figuur 4.6. Soorten funderingen (op basis van informatie Rli, 2024, de oranje blokken weergeven type funderingen waar problemen kunnen ontstaan).

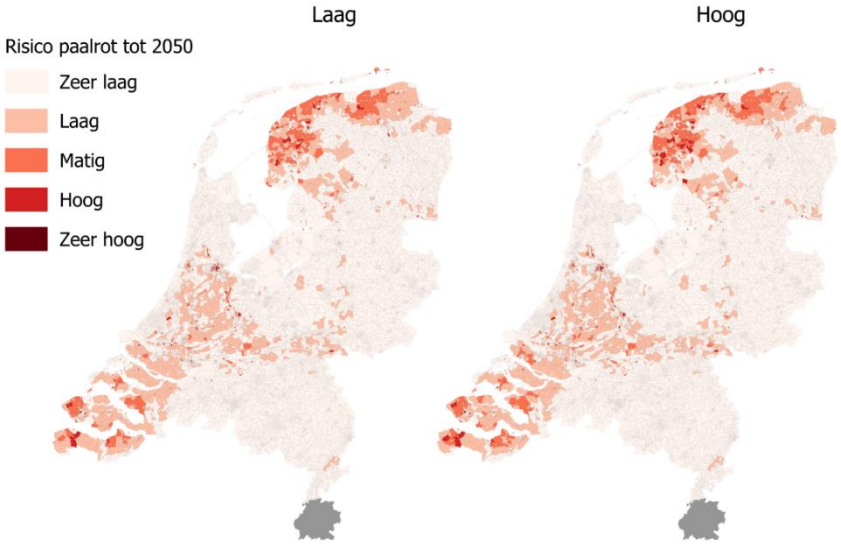
Vervolgens bestaan er ook funderingen die wel gebruik maken van heipalen, maar waar toch problemen kunnen ontstaan. De problemen worden veroorzaakt door lage grondwaterstanden en niet door bodemdaling. Bij veel woningen die vóór 1970 zijn gebouwd, werd vaak gebruik gemaakt van houten heipalen. Deze heipalen bestaan uit grenen of vuren hout die gevoelig zijn voor rottingsprocessen. Grenen hout wordt aangetast door bacteriën die in het grondwater leven, hierdoor rot de paal langzaam weg. Dit staat ook wel bekend als *palenpest*. Vurenhout krijgt te maken met schimmelaantasting wanneer de grondwaterstand daalt. Een deel van de paal dat eerst onder water stond, wordt nu blootgesteld aan zuurstof waardoor schimmels actief worden en het hout begint te rotten. Dit proces staat bekend als *paalrot*. Figuur 4.8 laat zien waar het risico op paalrot in Nederland tot 2050 het grootst is. Voornamelijk de provincies Zuid-Holland, Zeeland, het noorden van Friesland en Groningen, en gebieden langs de grote rivieren kennen een groot risico op paalrot.

Als laatste kunnen woningen ook op *kleef* worden gefundeerd. Hierbij worden de heipalen niet in diepe zandlagen geslagen, maar berusten ze op enkele meters diepte in de klei. Toch kunnen hier problemen ontstaan wanneer de kleilagen beginnen te verzakken als de grondwaterstand daalt. De grond om de palen heen begint dan aan de palen te trekken waardoor *negatieve kleef* ontstaat en de fundering kan verzakken. Dit proces hoeft niet per se door klimaatverandering veroorzaakt te worden. In steden komt negatieve kleef ook voor als bijvoorbeeld verzakte wegen worden opgehoogd. Door het extra gewicht zakt het onderliggende bodempakket, wat ook de houten palen (aan de kant van de straat) mee naar beneden kan trekken. Dit type fundering komt vooral in Zuid-Holland voor (Kok et al., 2021).

Doorgaans zijn woningen die ná 1970 zijn gebouwd, gefundeerd op betonnen palen. Tot zover bekend zijn deze palen bestand tegen de effecten van bodemdaling en treedt er geen schade op aan de fundering.



Figuur 4.7. Risico op verschilzetting tot 2050 voor verschillende klimaatscenario's (data: Klimaateffectatlas).

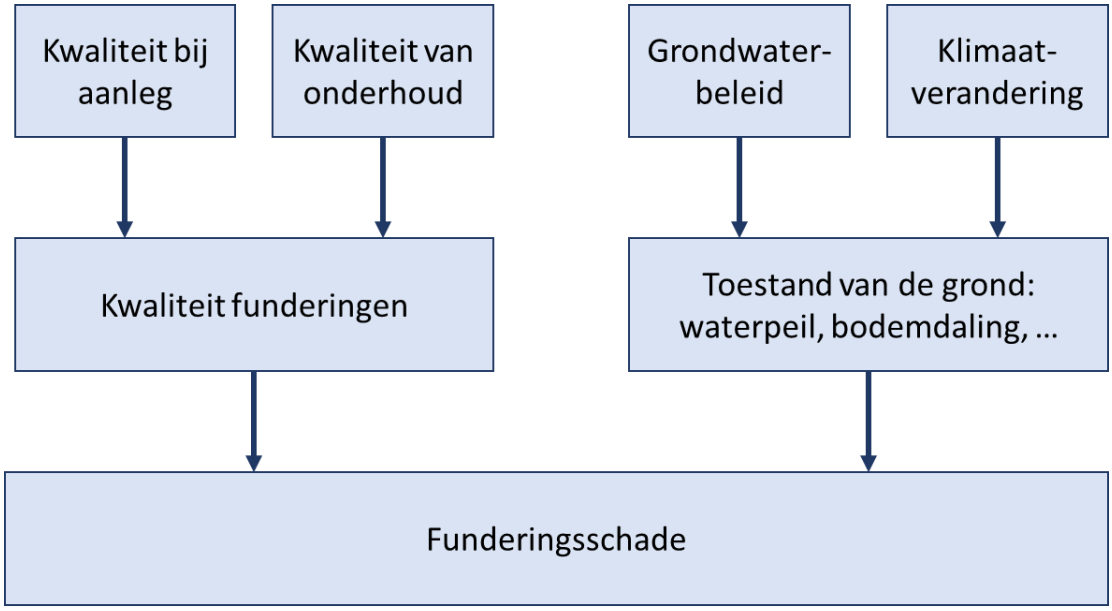


Figuur 4.8. Risico op paalrot tot 2050 voor verschillende klimaatscenario's (data: Klimaateffectatlas).

4.1.2 Gevoeligheid

De gevoeligheid van bodemdaling en funderingsschade hangt af van veel verschillende factoren. Daarbij is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen private en publieke schade. In dit geval is funderingsschade vrijwel uitsluitend een private aangelegenheid, terwijl bodemdaling op beide domeinen betrekking heeft.

Veel funderingen van oude gebouwen in Nederland zijn van slechte kwaliteit, vaak doordat ze in een tijd zijn aangelegd waarin weinig bekend was over paalrot of verschilzetting. In de decennia erna is vaak nauwelijks onderhoud gepleegd waardoor nu de eerste scheuren en verzakkingen zichtbaar worden. Vaak is dit een teken dat het al te laat is en de schade aan de funderingen vergevorderd is. De schade is niet alleen het gevolg van de kwaliteit bij aanleg in het verleden, maar wordt ook versterkt door veranderende grondwaterstanden. Klimaatverandering versterkt dit effect: toenemende droogte in de zomer leidt tot nog lagere grondwaterstanden en verdroging in de onverzadigde zone. Funderingsproblemen ontstaan dus precies daar waar kwetsbare constructies samenkomen met droge, slappe bodems en waar deze processen elkaar versterken, zoals ook schematisch weergegeven in Figuur 4.9.



Figuur 4.9. Schematische weergave van factoren die funderingsschade beïnvloeden.

Funderingsschade brengt vaak hoge kosten met zich mee die woningeigenaren vaak zelf moeten betalen. Hoe gevoelig een woningeigenaar is, hangt veelal af van haar vermogen en financiële positie. Onderzoek laat zien dat de kosten hoog kunnen oplopen. Volgens Kok et al. (2021), samengevat in Figuur 4.10, kunnen de totale kosten oplopen tot €60 miljard tot 2050. Voor de individuele woningeigenaar kunnen de kosten in het extreme geval, wanneer de hele fundering moet worden vervangen, oplopen tot meer dan €120.000. Dat is een bedrag dat vermogende huishoudens kunnen dragen, maar dat voor mensen met beperkte middelen direct tot financiële problemen kan leiden. Funderingsschade is daarmee niet alleen een technisch probleem, maar ook een sociaaleconomische kwestie.

Bron	Voorraad gebouwen met gevoelige fundering			Beschouwde schade-mechanismen	Aantal verwachte schadegevallen	Gehanteerd schadebedrag per pand	Verwachte schade tot 2050	Schade-verwachting inclusief klimaat-verandering?
	Woningen of panden	*Onderscheid funderingstype*	*aantal*					
Deltares (2012)	Panden	Nee	750.000	Paalrot Negatieve kleef Verschilzetting	onbekend	€ 54.000	5-40 miljard	Nee
PBL (2016)	Panden	Nee	geen data	-	> 300.000	onbekend	>16,5 miljard	Nee
Sweco (2018)	Panden	Houten palen	450.000	Paalrot	225.000 (50%)	onbekend	<16 miljard	Ja
KCAF (2019)	Woningen	Nee	geen data	Alle	1.000.000 (25% voor 1970)	€1000-1750/m² €40-80.000 per woning	60 miljard	Nee
Deltares (2020)	Panden	Houten palen en op staal	geen data	Paalrot Verschilzetting	2-9 % ernstige schade	€500-120.000 afhankelijk van schadeniveau	€5-54 miljard	Ja

Figuur 4.10. Kostenschattingen van funderingsschade (overgenomen van Kok et al., 2021).

Bodemdaling veroorzaakt ook schade aan particuliere woningen, maar de financiële impact is doorgaans beperkter dan bij funderingsproblemen. Het gaat hierbij vooral om schade op het erf: verzakkende tuinen, brekende nutskabels of een riolering die onder spanning komt te staan (Van den Born et al., 2016). Hoewel dit enige overlast kan veroorzaken, zijn dit kostenposten die relatief overzichtelijk blijven. Voor de meeste woningeigenaren leveren ze dan ook zelden serieuze financiële problemen op.

De grootste directe schade door bodemdaling manifesteert zich in de openbare ruimte. Straten verzakken, rioleringen scheuren, en kabels en leidingen breken, wat leidt tot hoge publieke kosten. Glasvezelkabels vormen een uitzondering op de regel. Uit de interviews die we hebben afgenomen met experts blijkt dat schade aan glasvezelkabels vrijwel nooit door bodemdaling wordt veroorzaakt. Vaak zijn externe factoren, zoals graafschade, de oorzaak van schade aan de glasvezelkabels. De reden dat glasvezelkabels niet gevoelig zijn voor bodemdaling komt doordat de kabels in een koker worden geplaatst en veel speelruimte hebben om uit te rekken. De kabels kunnen tot wel 10 meter uitrekken, wat veel meer is dan de hoogste bodemdalingssnelheden. Bovendien beschermt de koker de kabels ook tegen andere externe effecten zoals wateroverlast en overstromingen.

4.2 Adaptatiemaatregelen

Dit onderdeel brengt de verschillende adaptatiemaatregelen in kaart die bijdragen aan het verminderen van het risico en de impact van bodemdaling en funderingsschade. Eerste brengen we de adaptatiemaatregelen in kaart die in het huidige beleid zijn opgenomen. Vervolgens richten we ons op toekomstige maatregelen die effectief kunnen zijn. Daarbij maken we een onderscheid tussen technische, ruimtelijke, financiële en stimuleringsmaatregelen.

4.2.1 Adaptatiemaatregelen huidige beleid

De huidige aanpak van bodemdaling en funderingsschade is vooral technisch van aard en richt zich op het reguleren van grondwaterstanden en het herstellen van schade (samengevat in Tabel 4.2). Een structurele oplossing vereist echter een betere afweging tussen de belangen van landbouw, waterveiligheid en woningbezit. Cruciaal hierin is het zogenoemde peilbesluit, waarin de afstand tussen het maaiveld en het oppervlaktewaterpeil wordt vastgesteld. Landbouw heeft doorgaans baat bij lage grondwaterstanden, omdat dit de opbrengst verhoogt. Voor

woningeigenaren geldt juist het tegenovergestelde: een hogere grondwaterstand helpt bodemdaling en funderingsschade voorkomen (KBF, 2022b).

Tabel 4.2. Huidige adaptatiemaatregelen bodemdaling en funderingsschade.

Beleid	Adaptatiemaatregel	Domein	Verantwoordelijkheid
Grondwaterregulering	Belangenafweging grondwater	Technisch	Gemeenten, waterschappen
Grondwaterregulering	Peilvakken aanpassen	Technisch	Waterschappen en gemeenten
Klimaat-adaptieve landbouw	Natte teelten (paludicultuur)	Technisch	Landbouwsector
Actief grondwaterpeilbeheer	DIT-riool	Technisch	Gemeente
Herstellen schade	Scheuren herstellen (ondiepe funderingen)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Grondinjecties (ondiepe funderingen)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Op palen funderen (ondiepe fundering)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Paalkopverlaging (diepe fundering)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Fundering compleet vervangen	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Sloop en nieuwbouw van de woning	Technisch	Woningeigenaar
Handelingsperspectief	Fonds Duurzaam Funderingsherstel	Handelingsperspectief	Rijk, gemeenten en woningeigenaren
Meer bewustwording over funderingsschade	Participatiemogelijkheden creëren	Bewustwording	Gemeenten

We moeten beter nadenken over welk belang op welke plek prioriteit krijgt. Een logisch hieruit volgende maatregel is het structureel verhogen van de grondwaterstanden in gebieden met veel kwetsbare woningen, in zoverre dat mogelijk is. Dat betekent niet dat de landbouw hoeft te verdwijnen, maar slim gebruik moet maken van de hogere grondwaterstanden door hier de bedrijfsactiviteiten op af te stemmen. Een voorbeeld hiervan is de overstap naar natte teelten (paludicultuur). Dit zijn gewassen die juist goed groeien bij hoge grondwaterstanden waarmee een synergie wordt gecreëerd tussen landbouw en woningeigenaren (NKB, 2024). Dit vergt wel een ander verdienmodel voor agrarische bedrijven én voldoende markt voor deze producten.

Het aanpassen van de peilvakken biedt mogelijk een andere optie om beter te sturen op het grondwater. Zo kunnen in bepaalde gebieden, of zelfs voor individuele gebouwen, damwanden worden geplaatst waardoor het grondwaterpeil specifiek hierbinnen kan worden gereguleerd (Rli, 2024).

Daarnaast kan actief grondwaterpeilbeheer bijdragen aan het vertragen van bodemdaling. Dit gebeurt door water te infiltreren bij droogte of juist te draineren bij een te hoge grondwaterstand. Voor deze vorm van dynamisch beheer is een DIT-rioleringssysteem nodig (Drainage-Infiltratie-Transport), waarvoor de gemeente verantwoordelijk is (KBF, 2022b).

Door deze maatregelen wordt het mogelijk om het grondwaterbeheer beter af te stemmen op het specifieke bodemgebruik en de lokale risico's.

Funderingsherstel
Bij funderingsschade ligt een groot deel van de focus op het herstellen van de schade. Rli (2024) heeft in kaart gebracht welke technische herstelmaatregelen effectief zijn. De verantwoordelijkheid van deze maatregelen, inclusief de kosten, ligt bij de woningeigenaar.

Bij ondiepe funderingen kan soms een deel van de schade worden hersteld, bijvoorbeeld door de scheuren te herstellen waar dit kan. Dit betekent niet dat het probleem is verholpen, de scheuren kunnen namelijk weer terugkomen. Daarnaast kunnen op zandgronden grondinjecties worden toegepast die de draagkracht en stabiliteit van de grond kunnen herstellen. Dit is niet mogelijk bij veen- en kleigronden, waar de focus van dit onderzoek op ligt. Als laatste is het ook mogelijk om een diepe fundering op palen aan te brengen.

Diepe funderingen op houten palen zijn een stuk moeilijker te herstellen. Als de fundering ernstig is beschadigd, dan is vaak de enige oplossing het compleet vervangen van de fundering. In enkele gevallen hoeft maar een deel van de fundering te worden vervangen. Het gaat dan om de zogenaamde paalkopverlaging waarbij de houten paal op een dieper niveau wordt afgezaagd en gedeeltelijk wordt vervangen door beton. In het ergste geval is de schade aan de fundering zo groot dat de enige rendabele optie volledige sloop en nieuwbouw van de woning is.

Handelingsperspectief en bewustzijn
Het grote probleem bij funderingsschade is dat voorkomen vaak niet helemaal mogelijk is, het is dan meer uitstel van de schade. De maatregelen die erop gericht zijn op de schade te voorkomen, werken goed als de schade wordt veroorzaakt door grondwaterbeleid. Maar het voorkomen van een extreme droogte in de zomer, waardoor het grondwaterpeil sterkt daalt, is moeilijk te voorkomen en voorspellen. Daarom berust een groot deel van de maatregelen bij funderingsschade zich op het afhandelen van de schade (handelingsperspectief) en het stimuleren van het bewustzijn zodat we tijdig kunnen inspelen op potentiële schade.

Onder het huidige beleid worden deze zaken nog onvoldoende belicht. Uit de verschillende interviews die we hebben afgenomen met experts blijkt dat dit voornamelijk komt doordat niemand zich de probleemeigenaar voelt. Het is ook niet in het belang van de verschillende partijen om op de hoogte te zijn van funderingsschade. Een woningeigenaar moet bijvoorbeeld bij verkoop van de woning genoegen nemen met een lagere verkoopprijs als er sprake is van schade. Daarnaast is het ook niet in het belang van de hypotheekverstrekkers. Zij moeten namelijk een afwaardering doen op de uitstaande hypotheek doordat de woning plots minder waard wordt. De loan-to-value ratio neemt hierdoor af waardoor hypotheekverstrekkers maatregelen moeten nemen. Als laatste is er ook geen duidelijk beleid vanuit de overheid. Zij vreest namelijk dat ze verantwoordelijk wordt gesteld voor de schade en dit moet compenseren (Rli, 2024).

Als gevolg hiervan heerst veel onduidelijkheid over het handelingsperspectief wanneer er schade optreedt. Het enige (financiële) instrument dat momenteel beschikbaar is het Fonds Duurzaam Funderingsherstel (FDF). Dit is een lening die woningeigenaren kunnen aanvragen wanneer zij te maken krijgen met funderingsschade. Daaraan zijn wel strenge voorwaarden verbonden. Er moeten bijvoorbeeld meteen andere duurzaamheidsmaatregelen worden genomen zoals het beter isoleren van de vloer. Een onwetende woningeigenaar die plotseling wordt getroffen kan dan voor een dure verrassing komen te staan die grote financiële gevolgen heeft.

4.2.2 Adaptatiemaatregelen toekomstig beleid

Het huidige beleid bij funderingsschade of schade veroorzaakt door bodemdaling is vooral gericht op technische maatregelen die de gevolgen verminderen, maar de grootste uitdagingen zitten voornamelijk in de verdeling van de kosten, het handelingsperspectief en het bewustzijn. Dit is ook één van de grootste barrières waarom veel adaptatiemaatregelen niet van de grond komen. Tabel 4.3 vat de mogelijke adaptatiemaatregelen samen die hier mogelijk aan kunnen bijdragen.

Tabel 4.3. Adaptatiemaatregelen bodemdaling en funderingsschade.

Beleid	Adaptatiemaatregel	Domein	Verantwoordelijkheid
Bodemdaling versnellen	Beter voorbelasten bij nieuwbouw	Technisch	Ontwikkelaars
Maatregelen afdwingen	Lokale wet- en regelgeving	Stimuleren	Gemeente
Samenwerking tussen private en publieke partijen	Gemeenten, ontwikkelaars en investeerders gaan met elkaar in gesprek	Financieel	Gemeente, ontwikkelaars, inwoners
Duidelijke communicatie	Luisteren naar verschillende partijen en verandering van terminologie	Stimuleren	Gemeente
Beter afweging nieuwbouw locaties	Keuzes in locatie en verdeling kosten	Ruimtelijke	Rijksoverheid, gemeenten, ontwikkelaars
Subsidies	Subsidie voor een deel van het funderingsonderzoek	Financieel	Overheid
Subsidies	Subsidies voor een deel van de herstelkosten	Financieel	Overheid
Bewustzijn verhogen	Publieke kaarten en data met info over funderingsschade	Stimuleren	Rijk, gemeenten
Schade/risico identificeren	Onderzoek op woningniveau uitvoeren	Stimuleren	Woningeigenaren, gemeenten, rijk
Schade/risico identificeren	Kwetsbaarheid in kaart brengen door te kijken *wie* er worden getroffen	Stimuleren	Gemeenten, rijk

Technische maatregelen

Onder het huidige beleid worden al veel technische maatregelen genomen om funderingsschade te herstellen. Het verhogen van de grondwaterstanden zorgt er tijdelijk voor dat de schade wordt voorkomen, maar dat verbetert niet de kwaliteit van de fundering. Bij funderingsschade moeten we daarom meer kijken naar financiële en stimuleringsmaatregelen die ervoor zorgen dat mensen zijn voorbereid op schade in de toekomst.

Technische maatregelen zijn voornamelijk relevant voor nieuwbouwwoningen die in gebieden blootgesteld aan bodemdaling worden gebouwd. Voor Funderingsschade speelt dit geen probleem omdat na grofweg 1970 de meeste woningen overgingen op funderingen met

betonnen heipalen die tot dusver bekend geen last hebben van bodemdaling of lage grondwaterstanden. De problemen ontstaan vooral om het huis heen en de openbare ruimte. Straten verzakken, kabels en leidingen breken, en het riool raakt beschadigd. Volgens KBF (2022a) kunnen de kosten hiervan op de lange termijn worden beperkt door “beter voor te belasten, versneld consolideren, grondvervanging, onderheien, of een ontwerp waarbij minder last is van bodemdaling als drijven bouwen.”

Ruimtelijke maatregelen
Het water- en bodemsysteem zijn sturend bij verschillende ruimtelijke opgaven in Nederland. Concreet betekent dit voor bodemdaling dat we beter moeten afwegen waar we nieuwe woningen bouwen. Dat betekent niet dat we helemaal geen woningen meer moeten bouwen in klei- of veenweidegebieden. We moeten goed onderzoeken of de extra kosten van bouwen in deze gebieden opwegen tegen de economische baten. Hier gaan we dieper op in bij het onderdeel sociaaleconomische analyse.

Financiële maatregelen
Zoals KBF (2022a) al stelde, kunnen de kosten van schade door bodemdaling bij nieuwbouw worden beperkt door “beter voor te belasten, versneld consolideren, grondvervanging, onderheien, of een ontwerp waarbij minder last is van bodemdaling als drijvend bouwen.” Toch worden deze maatregelen maar zelden in de praktijk toegepast door een scheve verdeling van de kosten en baten.

Vooral bij nieuwbouwwoningen vormen de extra kosten van klimaat-adaptieve maatregelen een groot obstakel. Veel nieuwe woningbouw in Nederland wordt ontwikkeld door private marktpartijen. De extra maatregelen die zij moeten treffen leiden tot extra kosten op de korte termijn, terwijl de baten pas in de toekomst plaatsvinden, vaak niet tastbaar zijn en bij andere partijen terechtkomen (de inwoners en gemeente). Dat betekent dat er voor de ontwikkelaar geen rendement is op klimaat-adaptieve maatregelen. Het heeft zelfs een negatief effect op hun business case (Ten Brinke et al., 2022). Tabel 4.4 laat zien dat het integraal ophogen gebieden bij aanleg slechts 10 euro meer kost (105 i.p.v. 95 euro per vierkante meter), maar op de lange termijn bespaart dit 37 euro aan beheerskosten per vierkante meter. Daarmee kan een significant deel van de kosten worden betaald, maar we moeten dus een manier vinden om de lusten en lasten beter te verdelen.

Tabel 4.4. Kosten bouwrijp maken (Booister et al., 2021).

	Kosten aanleg €/m²	Kosten beheer €/m² netto contant 50 jaar rentevoet 4,5%
Bodemdalingsbestendig (integraal ophogen, 10 cm in 30 jaar)	105	2
Niet-bodemdalingsbestendig (integraal ophogen 30 cm in 30 jaar)	95	45

Subsidies
In de praktijk kunnen ontwikkelaars en gemeente in conflict raken met elkaar. In Rotterdam bijvoorbeeld werkten de gemeente en ontwikkelaar samen om groenvoorzieningen op daken aan te leggen. De ontwikkelaar heeft meermaals gedreigd om uit het project te stappen om via deze manier extra subsidies vanuit de gemeente te krijgen, wat soms ook lukte. Dergelijke subsidies stuiten wel op discussies over rechtvaardigheid. De gemeente legt namelijk publiek geld bij voor een private ontwikkeling, waarbij de extra baten van de maatregelen lokaal zijn, terwijl iedereen in de gemeente meebetaalt via belastingen (Mees et al., 2012).

Eenzelfde lijn van argumentatie geldt ook bij funderingsschade. Vanuit verschillende hoeken worden subsidies voor funderingsherstel geopperd (zie debat over funderingsschade in de Tweede Kamer, 2024). Deze maatregel wordt beïnvloed door de interpretatie van de begrippen *solidariteit* en *rechtvaardigheid*. Enerzijds kunnen we stellen dat een deel van de schade wordt veroorzaakt door grondwaterbeleid en dat daardoor de woningeigenaren worden gedupeerd, anderzijds kunnen we ook beargumenteren dat woningeigenaren hun woning niet goed hebben onderhouden en dat woningkopers zeker in deze tijd, waarin er steeds meer aandacht wordt bestaand aan funderingsschade door de media, wel degelijk rekening hadden kunnen houden met het risico op schade. De schade is ook voornamelijk privaat. Bij het herstel profiteert enkel de woningeigenaar en niet de rest van de buurt. De rechtvaardiging van subsidies zal dus altijd een politieke keuze blijven.

De vraag die hierbij ook speelt is welke mensen precies in de woningen wonen die te maken krijgen met funderingsschade. Mensen met overwaarde op hun woningen en veel vermogen hebben minder steun nodig dan mensen met een laag inkomen. In de V.S. hebben Howell & Elliot (2019) onderzocht wat het effect van steun bij schade door natuurrampen is op vermogensongelijkheid. Hun resultaten laten zien dat de vermogensongelijkheid juist groeit tussen minder bedeelde en welgestelde burgers in districten die meer steun ontvangen. De situatie in Nederland is anders dan in de V.S., waardoor we niet goed weten wat hier de effecten zouden kunnen zijn. Daarom is het belangrijk om goed onderzoek te doen naar wie daadwerkelijk profiteert van een subsidie, en hoe dit wordt gefinancierd.

Rli (2024) adviseert om een deel van de kosten van het funderingsonderzoek wel te subsidiëren. Ook hier kunnen de kosten hoog oplopen, tot wel €6.000 per gebouw, maar nog altijd een stuk lager dan de herstelkosten van een fundering bij grote schade. Wel stellen zij dat hier een aantal voorwaarden aan moeten worden verbonden. Zo moet het onderzoek door een gecertificeerd bedrijf worden uitgevoerd en de resultaten moeten worden aangeleverd in een funderingsdatabase (die momenteel nog niet bestaat). Verder adviseert het Rli (2024) dat een deel van de herstelkosten kan worden gesubsidieerd, maar welk percentage rechtvaardig is daarbij blijft een politieke afweging.

Bovendien hebben we niet goed in beeld wie er in de woningen wonen die een risico op funderingsschade hebben. Een onderzoek van Deelen et al. (2025) laat bijvoorbeeld zien dat in de gebieden met de grootste overstromingskans juist mensen met een groot vermogen wonen omdat zij meer waardering hebben voor de nabijheid van water. Mensen met een laag inkomen of klein vermogen vestigen zich niet buitenproportioneel meer in risicogebieden. Bij bodemdaling en funderingsschade weten we nog niet of dit eenzelfde spreiding volgt. We kunnen daarom niet met zekerheid zeggen welk deel van de getroffen huishoudens om mensen met een laag inkomen gaat. Hier ligt een belangrijk punt voor vervolgonderzoek om te bepalen in welke mate funderingsschade tot financiële problemen kan leiden voor individuele huishoudens.

We kunnen dus stellen dat een volledige subsidiëring van zowel klimaat-adaptieve maatregelen als de schade met publieke middelen niet per se hoeft te leiden tot minder ongelijkheid. Gedeeltelijke subsidiëring kan werken als de hele buurt meeprofiteert, of als ook daadwerkelijk mensen met een laag inkomen daarvan profiteren. Maar we moeten vooraf goed in kaart brengen tot welke verdelingseffecten een subsidie kan leiden.

Verzekeren

Verzekeren tegen funderingsschade lijkt voor de Nederlandse situatie niet heel realistisch. In andere landen is dit wel mogelijk. Zo kent Frankrijk een privaat-publieke verzekering voor schade veroorzaakt door natuurrampen, waar funderingsschade veroorzaakt door

natuurrampen wel kan worden verzekerd. Ook Engeland is veel verder op het gebied van verzekeringen. Daar wordt de schade gedekt door huisverzekeringen, en specifieke regels, zoals hoe ver een boom van de woning moet staan, zorgen ervoor dat het risico op schade wordt beperkt (Kok & Angelova, 2020). In Engeland is hier veel aandacht voor gekomen door de enorme schade die plaatsvond tijdens de droogte van 1976. De bevolking heeft vervolgens afgedwongen om hier voortaan tegen verzekerd te zijn. In Nederland is verzekeren nog niet mogelijk en waarschijnlijk zal dit ook zo blijven. Voor een verzekering moet er sprake zijn van een onzeker voorval: een zekere kans dat schade kan optreden. Dat is niet het geval in Nederland gezien het bijna zeker is dat funderingsschade zal gaan plaatsvinden (Verbond van verzekeraars, 2018; en op basis van verschillende interviews met verzekeraars). Onbekend is alleen *waar* en *wanneer*.

Fondsen
Fondsen kunnen een oplossing bieden om klimaat-adaptieve maatregelen en schadeherstel te financieren. Het Fonds Duurzaam Funderingsherstel (FDF) is hier een voorbeeld van, waar mensen met funderingsschade in aanmerking kunnen komen voor een lening als ze voldoen aan de criteria. Het fonds stelt mensen in staat om de schade te herstellen, zonder dat hier publieke middelen voor worden gebruikt.

Uit onze interviews met experts blijkt dat fondsen een oplossing zouden kunnen bieden extra te investeren in klimaatadaptatie in verschillende wijken. Een fonds kan verschillende vormen aannemen. Wanneer de gemeente bijvoorbeeld aankondigt dat over 10 jaar 80% van de tuin uit groen moet bestaan, kan een fonds worden gestart waarbij iedereen in de wijk die mee wil doen geld kan inleggen. Op deze manier kunnen de inwoners alvast op een aantrekkelijke manier sparen voor de toekomstige investeringen. De gemeente geeft op deze manier ook tijd aan de inwoners om te sparen voor de maatregelen. Maar een dergelijk fonds kan bijvoorbeeld ook worden opgesteld door andere instellingen die tegen een aantrekkelijke rente leningen kunnen verstrekken. Het is een manier om op een goedkope manier financiering te verstrekken voor klimaat-adaptieve investeringen.

Stimuleringsmaatregelen
Klimaatadaptatie rijkt verder dan technische en financiële maatregelen. Mensen moeten zich ook bewust zijn van de risico's, de gevolgen en welwillend zijn om maatregelen te nemen.

We weten in welke mate woningeigenaren nu al rekening houden met de kosten van bodemdaling en funderingsschade. Verschillende studies tonen aan dat woningkopers rekening houden met de kosten van funderingsschade als dit expliciet wordt vermeld in de advertentie (Hommes et al., 2023). Ze betalen dan een lagere prijs voor de woning. Deze 'korting' is ongeveer gelijk aan de kosten van het herstellen van de fundering. Ook als potentiële schade niet expliciet wordt vermeld, doen woningkopers een degelijke inschatting van de potentiële schade. Ze betalen dan minder voor een woning waar ze schade vermoeden. Deze verwachtingen baseren ze op schade die ze in de omgeving zien (verzakkende wegen en tuinen), kaarten waar het risico op schade per woonwijk is weergeven (Klimaateffectatlas) en sommige steden (bijvoorbeeld Gouda en Rotterdam) staan berucht om funderingsschade (Premchand et al., 2024; Willemsen et al., 2020). Bij voldoende informatie houden woningkopers wel degelijk rekening met funderingsschade. Daarom kan het bevorderen van het bewustzijn over funderingsschade een effectieve manier zijn om de markt een groot deel van de schade zelf in te laten prijzen.

We kunnen het bewustzijn vergroten met verschillende maatregelen. Ten eerste kunnen we de publieke informatievoorziening bevorderen en dit op een transparante wijze ontsluiten. Deels gebeurt dit al door openbare kaarten beschikbaar te stellen waar mensen het risico op

funderingsschade en bodemdaling in een bepaalde woonwijk kunnen zien. Daarnaast blijkt uit de interviews dat we ook het risico op woningniveau in kaart moeten brengen. Op dit moment weten we dat nog niet van de meeste woningen omdat daarvoor per woning een apart funderingsonderzoek voor nodig is. Een eventuele subsidie hiervoor, zoals het Rli (2024) ook al voorstelt, zou dus kunnen helpen. Daarnaast blijkt uit interviews met gemeenten dat lokale bewustwording ook kan helpen. Inwoners voelen zich meer betrokken en welwillender om actie te ondernemen als ze bij een buurtconferentie worden geïnformeerd over wat de gevolgen van klimaatrisico's voor hen persoonlijk betekenen.

In het rapport *De Olifant onder de kamer* stelt stelt ABDTOPConsult (2025) dat makelaars ook een rol spelen bij het goed informeren van kopers en verkopers, vanwege de bestaande informatie- en onderzoeksplicht. Ook financiers dragen een wettelijke zorgplicht om te toetsen over kopers potentieel funderingsherstel wel kunnen betalen. Beide partijen kunnen helpen om woningkopers beter te informeren.

Daarnaast kunnen lokale wet- en regelgeving een manier zijn om maatregelen af te dwingen. Ten Brinke et al. (2022) benoemt dat lokale wet- en regelgeving de ontwikkelaars in de goede richting 'nudged'. Dit is een manier om klimaat-adaptieve maatregelen te normaliseren in nieuwbouwontwikkelingen. Zonder zulke verplichtingen verdwijnen de maatregelen simpelweg van de tekentafel door financiële beperkingen.

4.3 Impact

In dit onderdeel brengen we de impact van bodemdaling en funderingsschade in kaart. Daarbij maken we gebruik van de drie scenario's die door het PBL zijn voorgedragen: huidige beleid, intensiveren en transformeren. Voor deze beoordeling gebruiken we de kaders van het PBL waarin we scenario's scoren op de dimensies van impact en waarschijnlijkheid. Daarbij is het belangrijk om op te merken dat exacte getallen moeilijk zijn te kwantificeren vanwege gebrek aan data. Daarom blijft de beoordeling hoofzakelijk kwalitatief en beschrijvend van aard.

Huidige beleid
Bij het huidige beleid gaan we door met de adaptatiemaatregelen die nu al op tafel liggen. We bespreken deze uitgebreid in het subonderdeel "Adaptatiemaatregelen huidige beleid." Het huidige beleid is vooral gericht op technische maatregelen. Zo proberen we in dit scenario de grondwaterstanden te verhogen om bodemdaling te beperken en funderingsschade deels te voorkomen of uit te stellen. Funderingen die te maken krijgen met schade proberen we zoveel mogelijk te herstellen. In dit scenario blijft de impact van bodemdaling en funderingsschade groot. Het verhogen van de grondwaterstanden vertraagt alleen het proces. Funderingen in slechte staat zullen op de lange termijn alsnog vervangen moeten worden. Naar waarschijnlijkheid is dit een jaarlijks terugkerend fenomeen. In de droge zomerperiodes van de afgelopen jaren werden er veel meldingen gemaakt van funderingsschade. In de toekomst zal dit mogelijk alleen maar verder toenemen.

Intensiveren
Bij het scenario intensiveren ligt de focus op voortbouwen op het huidige beleid waarbij de nadruk ligt op technische maatregelen. Zo wordt bijvoorbeeld de infiltratiecapaciteit van het stedelijke gebieden vergroot, wat ook het grondwater beter op peil houdt. Mogelijk kan dit ervoor zorgen dat een deel van de funderingsschade wordt uitgesteld.

Bovendien omschrijft het scenario specifiek dat "nieuwbouw blijft plaatsvinden op de (op korte termijn) economisch meest gewenste plaatsen, dus bijvoorbeeld ook in diepe droogmakerijen en veenweidegebieden." De vraag is of dit de plekken zijn met de economisch hoogste waarde.

Premchand & Mulder (2025) laten zien dat zowel met als zonder extra klimaat-adaptieve maatregelen de grote steden in het westen van Nederland de grootste economische baten generen. Veel meer dan de dunbevolkte polders. Maatregelen als een straatje erbij in elk dorp zouden dus in eerste instantie al niet per se de hoogste welvaart genereren. Juist bouwen binnen bestaande steden en verdichting zorgen voor een hogere welvaart. We gaan hier dieper op in onder het onderdeel sociaaleconomische analyse.

Ook bij dit scenario blijft de impact groot. De schade kan worden uitgesteld en deels mogelijk worden voorkomen, maar het lost het probleem niet op. Voorspellingen van drogere zomers in de toekomst kunnen de schade verergeren en naar waarschijnlijkheid zal deze schade zich jaarlijks blijven manifesteren. Het is namelijk een geleidelijk proces dat langzaam in de bodem sluimert en bij verschillende woningen over de tijd tot schade kan leiden.

Transformeren
Het scenario transformeren streeft naar robuuste systemen die beter bestand zijn tegen de verschillende effecten van klimaatverandering. Daarbij wordt het bodembeheer duurzaam uitgevoerd en benutten we het natuurlijke systeem.

In dit scenario maakt de overheid de maatschappij via informatievoorziening bewust van klimaatrisico's. Dit sluit nauw aan bij ons advies om in te zetten op maatregelen die het bewustzijn vergroten. Verschillende onderzoeken laten zien dat woningkopers een groot deel van de schade zelf inprijzen als zij over voldoende informatie beschikken (Hommes et al., 2023; Premchand et al., 2024; Willemsen et al., 2020). Feitelijk betekent dit dat ze geld reserveren voor schade die zij in de toekomst verwachten. Op deze manier vallen de maatschappelijke kosten van bodemdaling en funderingsschade lager uit.

Bovendien zorgt meer vernatting in veenweidegebieden voor minder bodemdaling. Op deze manier wordt een deel van de schade voorkomen, waardoor de kosten ook lager uitvallen. Daarnaast zorgt dit voor minder CO_2-uitstoot.

Nieuwbouw vindt niet plaats op locaties met een hoog overstromingsrisico als gevolg van een stijgende zeespiegel. Bebouwing vindt zoveel mogelijk plaats binnen de bestaande stad. Daardoor is nieuw gebouwd gebied beperkt in oppervlak (toename van 3% t.o.v. huidig) en vindt vooral plaats op kleigronden, op de hoge zandgronden en (binnendijks) in het rivierengebied. Vanuit een welvaartsperspectief kan dit positief zijn. Juist verdichting in de bestaande stad betekent dat we blijven bouwen op de plekken met de hoogste economische baten.

Het klimaatbestendig maken van stedelijk gebied is de standaard, waarbij waar mogelijk gekozen is voor groene en blauwe oplossingen, zoals een minimumpercentage open water en groen in stedelijk gebied, het bevorderen van tijdelijke wateropslag in tuinen, het bevorderen van infiltratie op particulier terrein en in de openbare ruimte, en groene daken. Hemelwaterafvoeren zijn gedeeltelijk afgekoppeld (RV). Dit kan positief zijn voor het deels beperken van bodemdaling.

Er is meer groen en blauw, met groenblauwe verbindingen tussen stad en buitengebied, en bos en open water in en om stedelijk gebied. Er is een sterke menging van wonen, werken en voorzieningen. Mogelijk kan dit het welzijn en de gezondheid van mensen verbeteren.

Wat dit specifiek voor de impact betekent is lastig in te schatten omdat de schade specifiek per woning manifesteert. Naar verwachting zal ook de impact onder dit scenario groot blijven, maar de effecten kunnen wat worden gereduceerd doordat dit scenario actief inzet op het voorkomen

van verdere bodemdaling. Ook hier geldt weer dat de schade naar waarschijnlijkheid jaarlijks plaatsvindt, met een piek in gerapporteerde schade tijdens droge jaren.

5 Acute wateroverlast door piekbuien

Op hoofdlijnen:

- Huidige klimaatmodellen laten zien dat zowel de frequentie als intensiteit over de komende jaren / decennia zal toenemen. Deze piekbuien kunnen over het gehele land voorkomen. Neerslag extremen met een plaatselijk voorkomen van eens per honderd jaar, vinden landelijk ongeveer jaarlijks plaats.
- Hoewel de ruimtelijke spreiding van piekbuien over Nederland weinig varieert, is er wel een ruimtelijke variatie in de impact van piekbuien. De plekken waar de kans groter is dat piekbuien leiden tot acute wateroverlast zijn met name te vinden in Zuid-Limburg en de verstedelijkte delen van de Randstad.
- Beleid en adaptatiemaatregelen zijn in de huidige situatie voornamelijk gefocust op de technische maatregelen. Welke technische maatregelen genomen kunnen worden om schade door acute wateroverlast te beperken is dan ook veelal bekend.
- De moeilijkheid in adaptatie voor acute wateroverlast voor piekbuien zit echter in de financiering van deze maatregelen en schadeafhandeling en de bewustzijn omtrent de te nemen maatregelen (en de problematiek in algemene zin).
- Technische maatregelen zijn uiteindelijk essentieel om het hoofd te bieden aan acute wateroverlast door piekbuien, maar bereikt pas de volle effectiviteit wanneer dit gebeurt in samenhang met het creëren van bewustzijn, en het in gang zetten van stimuleringsmechanismen om de financiering van de adaptatiemaatregelen zo goed mogelijk te verdelen.

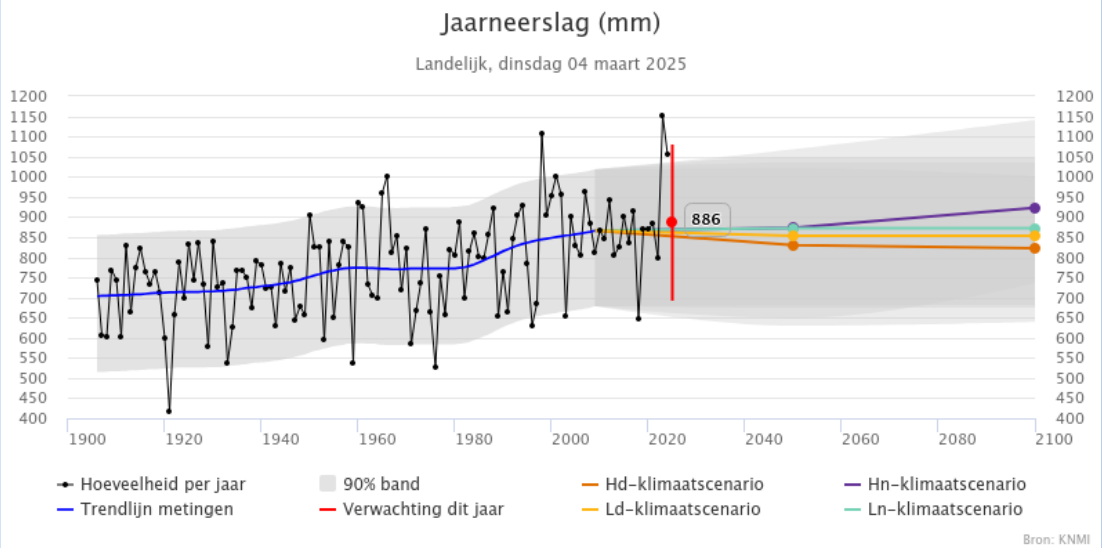
5.1 Inleidend

Acute wateroverlast wordt geregeld verschillend geïnterpreteerd. De een bedoelt hoofdzakelijk wateroverlast als gevolg van piekbuien, de ander neemt ook (lokale) overstromingen in beschouwing. Binnen deze rapportage volgen wij de eerste afbakening van acute wateroverlast, namelijk; wateroverlast door piekbuien. Deze lijn zullen wij gedurende de gehele volgende paragrafen volgen.

Het gaat hierbij nadrukkelijk om een toename in neerslag van, specifiek die van piekbuien. Om de grootst mogelijke impact te bekijken, maken wij voor acute wateroverlast door piekbuien gebruik van de KNMI’23 Klimaatscenario’s Ln en Hn.

5.2 Klimaatrisicoanalyse

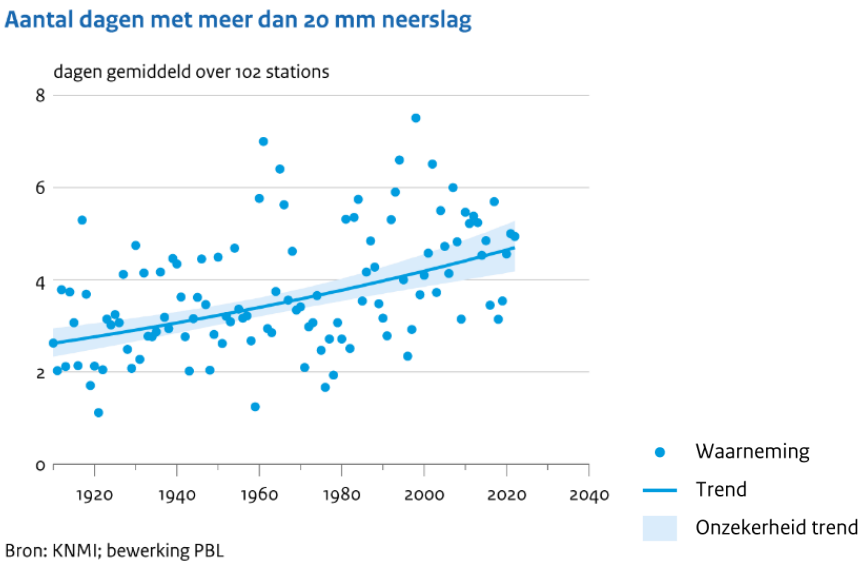
Over de negentiende eeuw is een trend waarneembaar dat er in Nederland op jaarbasis meer neerslag valt. Sinds 1910 is de jaarlijkse hoeveelheid neerslag met 26% toegenomen (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2023). Echter, deze trend lijkt sinds de eeuwwisseling een halt toegeroepen te zijn (zie ook Figuur 5.1). In de eerste twee decennia van de twintigste eeuw, en bovendien in de projectie van de verschillende klimaatscenario's over de eenentwintigste eeuw, lijkt de gemiddelde jaarneerslag niet tot lichtelijk toe te nemen, afhankelijk van het klimaatscenario's van waaruit gekeken wordt.



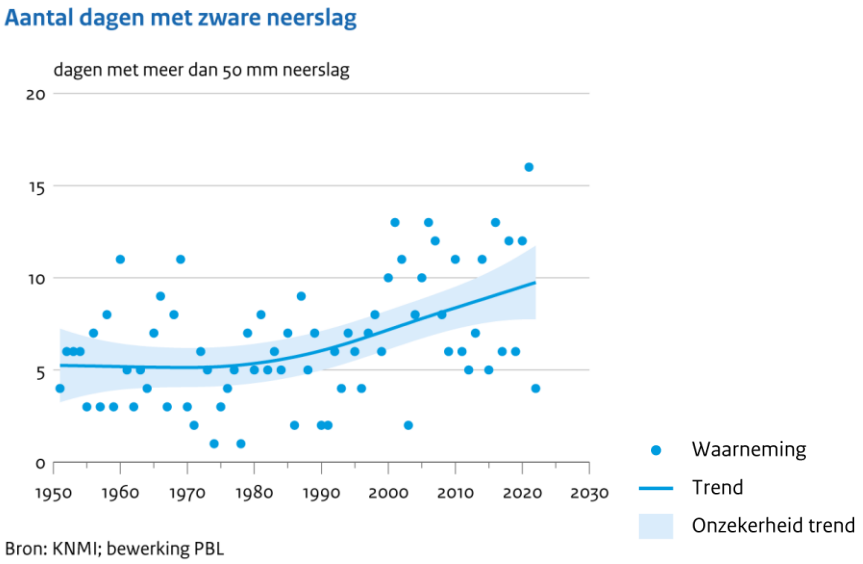
Figuur 5.1. Jaarneerslag sinds 1906 (in mm) (KNMI, 2025b).

Daarentegen toont het aantal dagen met respectievelijk 20 mm (zie Figuur 5.2) of 50 mm neerslag (zie Figuur 5.3) wel een trend die zich doorzet na de eeuwwisseling en in de klimaatscenario's. Specifiek voor het aantal dagen met zware neerslag is er een sterke trend zichtbaar. Zo is sinds 1951 een toename van 85% te zien in het aantal dagen met zware neerslag (meer dan 50 mm)(CLO, 2023). Het is hierbij van belang op te merken dat het hier gaat om het gegeven dat er ergens in het land een bui van 20 of 50 mm valt, en niet overal in het land.

Voorgaande toont aan dat de prognose voor de hoeveelheid neerslag op jaarbasis redelijk stabiel is. Wel komt duidelijk naar voren dat piekbuien frequenter voorkomen in de toekomst. Deze buien staan in deze rapportage centraal.



Figuur 5.2. Aantal dagen met meer dan 20 mm neerslag (CLO, 2023).



Figuur 5.3. Aantal dagen met zware neerslag (meer dan 50 mm) (CLO, 2023).

5.2.1 Neerslag neemt toe en wordt extremer

5.2.1.1 Jaar- en seizoensneerslag

Deze paragraaf geeft een omschrijving van de jaar- en seizoensneerslag, en veranderingen hierin, voor de KNMI'23 Klimaatscenario's Ln en Hn, landelijk én uitgesplitst naar vijf locaties.

Verandering in jaar- en seizoensneerslag.

Sinds 1906 is de jaarlijkse hoeveelheid neerslag met ongeveer twintig procent toegenomen. Ook richting 2050 en 2100 zal de hoeveelheid neerslag blijven toenemen. Echter, de mate waarin dit gebeurt varieert tussen de KNMI'23 Klimaatscenario's Ln en Hn (zie Tabel 5.1). Waar de projecties richting 2050 niet veel verschillen tussen beide scenario's, vindt er richting 2100 een grote variatie plaats. Seizoenen die richting 2100 natter worden zien een sterkere toename in neerslaghoeveelheid voor het Hn-scenario dan voor het Ln-scenario. Tegelijkertijd wordt de zomer als enige maand droger, en ook hier geldt een versterkte verandering in neerslaghoeveelheden voor het Hn-scenario, al gaat het hier om een versterkte afname in neerslag.

Een andere interessante observatie is de stagnatie in af- en toename van de neerslaghoeveelheden tussen 2050 en 2100 voor het Ln-scenario. Dit terwijl de neerslaghoeveelheden voor het Hn-scenario sterk toe- en afnemen tussen beide jaartallen.

Tabel 5.1. Verandering in neerslag op basis van landelijke gemiddelde (KNMI, 2023b).

Seizoen	Huidig	2050 Ln	2100 Ln	2050 Hn	2100 Hn
Jaar	851 mm	+3%	+3%	+3%	+8%
Winter	218 mm	+5%	+5%	+7%	+24%
Lente	153 mm	+3%	+3%	+4%	+10%
Zomer	235 mm	-2%	-2%	-5%	-12%
Herfst	245 mm	+5%	+5%	+4%	+13%

Bovenstaande projecties heeft het KNMI ook gemaakt voor vijf verschillende locaties door heel Nederland, te weten: De Bilt, Den Helder, Groningen, Maastricht en Vlissingen. Tabel 5.2, Tabel 5.3 en Tabel 5.4 geven een overzicht van de huidige neerslaghoeveelheden en toekomstige verandering voor deze vijf locaties. De toekomstige neerslaghoeveelheden zijn geprojecteerd op basis van het Ln-scenario (Figuur 5.4) en het Hn-scenario (Figuur 5.5) en tonen een visuele weergave van Tabel 5.3 en Tabel 5.4, wat de regionale verschillen makkelijker duidt.

Deze figuren en tabellen laten zien dat de projecties voor het Hn-scenario allemaal in dezelfde richting lopen (de mate waarin varieert echter wel), terwijl voor het Ln-scenario een grote regionale differentiatie bestaat wanneer het aankomt op een verandering in de geprojecteerde neerslaghoeveelheden. Zo neemt voor het Ln-scenario de geprojecteerde gemiddelde neerslaghoeveelheden in Groningen als enige locatie toe in alle seizoenen. Dit terwijl juist in De Bilt voor 2050 en 2100 een afname voorzien is voor respectievelijk twee en drie seizoenen, en bovendien een afname op jaarbasis.

Tabel 5.2. Gemiddelde neerslaghoeveelheden over 1991-2020 (KNMI, 2025c).

Seizoen	De Bilt	Den Helder	Groningen	Maastricht	Vlissingen
Jaar	855	787	805	757	759
Winter	218	191	207	196	187
Lente	159	121	153	153	129
Zomer	239	210	228	225	216
Herfst	239	265	217	183	226

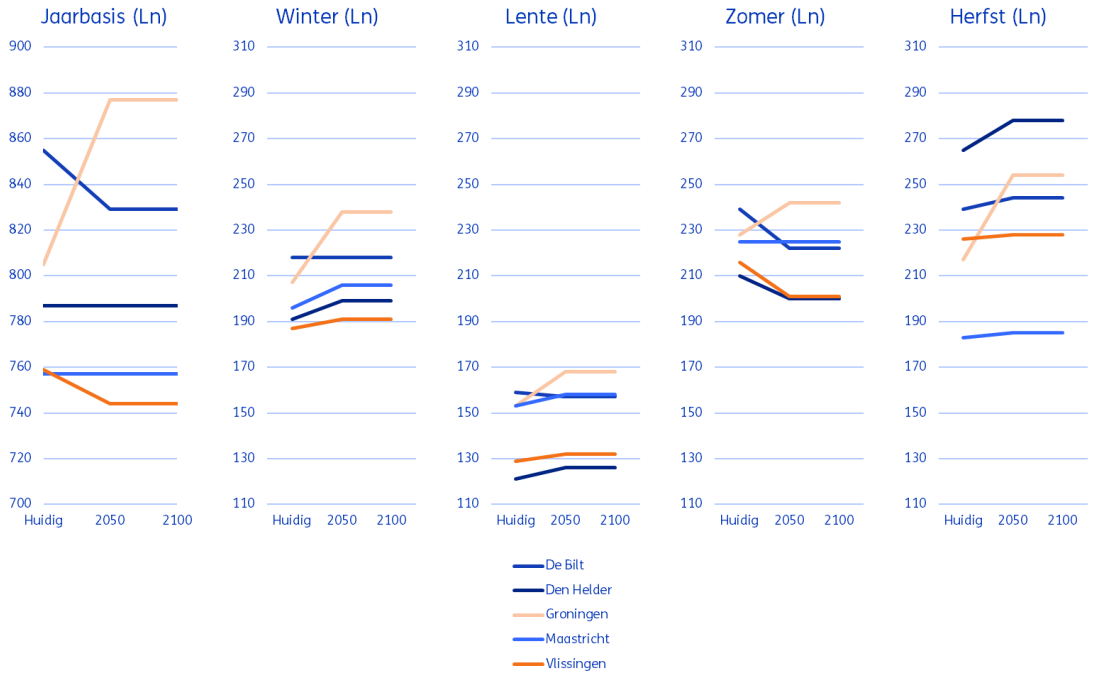
Tabel 5.3. Geprojecteerde veranderingen in neerslag op basis van het Ln-scenario (KNMI, 2025c).

	2050 Ln					2100 Ln				
Seizoen	De Bilt	Den Helder	Groningen	Maastricht	Vlissingen	De Bilt	Den Helder	Groningen	Maastricht	Vlissingen
Jaar	-2%	2%	12%	2%	-1%	-3%	2%	12%	2%	-1%
Winter	0%	4%	15%	5%	2%	-1%	4%	15%	5%	2%
Lente	-1%	4%	10%	3%	2%	-3%	4%	10%	3%	2%
Zomer	-7%	-5%	6%	0%	-7%	-10%	-5%	6%	0%	-7%
Herfst	2%	5%	17%	1%	1%	0%	5%	17%	1%	1%

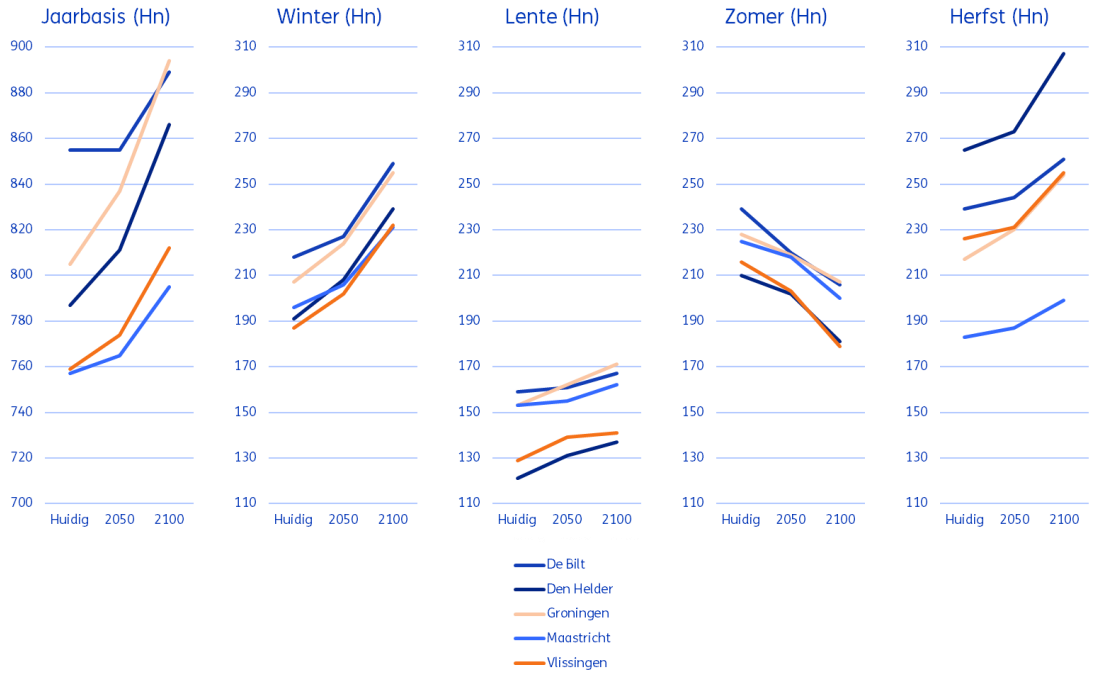
Tabel 5.4. Geprojecteerde veranderingen in neerslag op basis van het Hn-scenario (KNMI, 2025c).

	2050 Hn					2100 Hn				
Seizoen	De Bilt	Den Helder	Groningen	Maastricht	Vlissingen	De Bilt	Den Helder	Groningen	Maastricht	Vlissingen
Jaar	0%	3%	4%	1%	2%	4%	10%	11%	5%	7%
Winter	4%	9%	8%	5%	8%	19%	25%	23%	18%	24%
Lente	1%	8%	6%	1%	8%	5%	13%	12%	6%	9%
Zomer	-8%	-4%	-4%	-3%	-6%	-14%	-14%	-9%	-11%	-17%
Herfst	2%	3%	6%	2%	2%	9%	3%	17%	9%	13%

Anderzijds geldt voor het Hn-scenario dat alle locaties een afname in de totale gemiddelde neerslag voor de zomer tonen, terwijl voor de overige seizoenen en op jaarbasis een toename in de gemiddelde neerslaghoeveelheid geprojecteerd is (m.u.v. De Bilt, 2050 op jaarbasis). Ook laten de getallen zien dat de geprojecteerde neerslaghoeveelheden in Den Helder, Groningen en Vlissingen in de breedte sterker toenemen dan in De Bilt en Maastricht. Dit geldt niet voor de zomermaanden, waar De Bilt en Vlissingen het sterkst afnemen.



Figuur 5.4. Verandering in gemiddelde hoeveelheid neerslag voor het Ln-scenario (gebaseerd op KNMI, 2025c).



Figuur 5.5. Verandering in gemiddelde hoeveelheid neerslag voor het Hn-scenario (gebaseerd op KNMI, 2025c).

5.2.1.2 Piekbuien

De voorgaande paragraaf heeft aangetoond dat voor zowel het Ln- als het Hn-scenario neerslag met uitzondering van de zomer over alle seizoenen toeneemt. In hun rapportage over de klimaatscenario's heeft KNMI ook voor piekbuien de toe- en afname weergegeven. Voor de vier seizoenen, voor drie tijdshorizonnen (huidig, 2050 en 2100), en voor vijf frequenties zijn dagelijkse en uurlijkse neerslagextremen geprojecteerd (zie Tabel 5.5 t/m Tabel 5.8).

Dagelijkse neerslagextremen

Met uitzondering van enkele hoogfrequente buien (welke in enkele gevallen in intensiteit afnemen), zal de intensiteit van de meeste piekbuien toenemen. Hierbij kan worden opgemerkt dat de toename in intensiteit toeneemt naarmate de frequentie van de betreffende bui afneemt. Oftewel, hoe minder vaak de bui voorkomt, des te groter neemt de intensiteit van deze bui toe richting 2050 en 2100 voor de lente-, zomer- en herfstmaanden. Enkel voor de wintermaanden geldt een evenredige toename in intensiteit onafhankelijk van de frequentie van de bui.

Voor de buien met de laagste frequentie varieert de procentuele toename tevens niet enorm. Aangezien de huidige waarde reeds het hoogste liggen in de zomer en herfst zullen – met een nagenoeg gelijke procentuele verandering – de meest extreme dagelijkse neerslagextremen ook in de toekomst plaatsvinden in de zomer en de herfst. Zo kan de totale dagneerslag richting 2100 voor een bui die eens in de 1000 jaar plaatsvindt in de zomer wel toenemen tot 128 mm voor het Ln-scenario, en tot wel 146 voor het Hn-scenario.

Tabel 5.5. Neerslagtotalen voor dagelijkse neerslagextremen, gebaseerd op het Ln-scenario (KNMI, 2024).

	Winter (DJF)			Lente (MAM)			Zomer (JJA)			Herfst (SON)		
relatief	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*7*	10%	14%	*5*	-2%	2%	*8*	-5%	-5%	*8*	-2%	2%
1-1 jaar	*19*	10%	14%	*16*	3%	10%	*26*	1%	6%	*23*	7%	13%
1-10 jaar	*30*	10%	14%	*31*	5%	13%	*48*	6%	12%	*42*	9%	15%
1-100 jaar	*39*	10%	14%	*51*	6%	15%	*75*	7%	14%	*69*	10%	16%
1-1000 jaar	*46*	10%	14%	*79*	6%	16%	*111*	8%	15%	*105*	10%	16%
absoluut	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*7*	8	8	*5*	5	5	*8*	8	8	*8*	8	8
1-1 jaar	*19*	21	22	*16*	16	18	*26*	26	28	*23*	25	26
1-10 jaar	*30*	33	34	*31*	33	35	*48*	51	54	*42*	46	48
1-100 jaar	*39*	43	44	*51*	54	59	*75*	80	86	*69*	76	80
1-1000 jaar	*46*	51	52	*79*	84	92	*111*	120	128	*105*	116	122

Tabel 5.6. Neerslagtotalen voor dagelijkse neerslagextremen, gebaseerd op het Hn-scenario (KNMI, 2024).

	Winter (DJF)			Lente (MAM)			Zomer (JJA)			Herfst (SON)		
relatief	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*7*	20%	29%	*5*	-3%	4%	*8*	-11%	-11%	*8*	-5%	3%
1-1 jaar	*19*	20%	29%	*16*	5%	20%	*26*	2%	12%	*23*	14%	27%
1-10 jaar	*30*	20%	29%	*31*	10%	28%	*48*	12%	26%	*42*	19%	33%
1-100 jaar	*39*	20%	29%	*51*	12%	32%	*75*	15%	30%	*69*	20%	34%
1-1000 jaar	*46*	20%	29%	*79*	13%	34%	*111*	16%	32%	*105*	21%	35%
absoluut	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*7*	9	9	*5*	5	5	*8*	7	7	*8*	7	8
1-1 jaar	*19*	23	24	*16*	17	19	*26*	26	29	*23*	26	29
1-10 jaar	*30*	37	39	*31*	34	39	*48*	54	61	*42*	51	56
1-100 jaar	*39*	47	51	*51*	57	67	*75*	88	100	*69*	83	93
1-1000 jaar	*46*	55	59	*79*	89	106	*111*	129	146	*105*	126	141

Uurlijkse neerslagextremen

In tegenstelling tot de dagelijkse neerslagextremen tonen de uurlijkse neerslagextremen in alle gevallen een geprojecteerde toename in intensiteit van de betreffende bui. Voor alle seizoenen geldt tevens dat de geprojecteerde intensiteit van de bui sterker toeneemt naarmate de frequentie van de bui afneemt. Oftewel, hoe minder vaak de bui voorkomt, des te groter neemt de intensiteit van deze bui toe richting 2050 en 2100.

Deze toename is het sterkst in de winter-, zomer- en herfstmaanden. Tegelijkertijd was de huidige gemiddelde neerslaghoeveelheid in de zomer het hoogst. Tezamen met de sterkere toename in intensiteit duidt dit het belang van een sterk perspectief op de impact van piekbuien in de zomermaanden, en bijbehorende adaptatiemaatregelen.

Een uurlijks neerslagextreem met een plaatsgebonden kans van eens per honderd jaar (58 mm/u), heeft over geheel Nederland in voorkomen van ongeveer eens per jaar (KNMI, 2025a). De definiëring van een 1:100 bui varieert echter. Het KNMI gaat uit van een bui van 58 millimeter in één uur, maar ook 70 millimeter over twee uur wordt genoemd (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2025b).

Waarschijnlijkheid van voorkomen acute wateroverlast door piekbuien

Momenteel vinden piekbuien in Nederland al plaats. Voorgaande analyse laat zien dat de frequentie en intensiteit van deze buien– als gevolg van klimaatverandering – bovendien toenemen. Het is dan ook niet de vraag of acute wateroverlast door piekbuien gaat plaatsvinden, maar vooral waar en wanneer, en wat de impact van deze buien gaat zijn. Bovendien hangt zoals eerder gezegd de frequentie van een bui af van de intensiteit. Hoe hoger de intensiteit van een bui, hoe minder frequent deze bui voorkomt.

Resumerend

Ondanks dat de totale neerslaghoeveelheid voor de zomer – in tegenstelling tot alle andere seizoenen – lijkt af te nemen, nemen juist de neerslagextremen in de zomer (en andere seizoenen) wel toe, waarbij de hoogste hoeveelheden op zowel dag- als uurbasis voor de zomer gelden. Dit toont aan dat de druk van acute wateroverlast op de gebouwde omgeving het grootste is in de zomer. Kijkend vanuit zowel het Ln- als het Hn-scenario is het dus van belang de focus te leggen op de impact van piekbuien in de zomer.

Tabel 5.7. Neerslagtotalen voor uurlijkse neerslagextremen, gebaseerd op het Ln-scenario (KNMI, 2024).

	Winter (DJF)			Lente (MAM)			Zomer (JJA)			Herfst (SON)		
relatief	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*2*	8%	11%	*2*	2%	8%	*4*	2%	8%	*3*	8%	13%
1-1 jaar	*5*	9%	13%	*6*	3%	9%	*13*	8%	15%	*7*	11%	18%
1-10 jaar	*8*	9%	14%	*13*	3%	10%	*26*	9%	15%	*13*	12%	19%
1-100 jaar	*12*	10%	14%	*25*	3%	10%	*46*	9%	16%	*21*	12%	19%
1-1000 jaar	*18*	10%	15%	*44*	3%	10%	*73*	9%	16%	*31*	12%	20%
absoluut	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*2*	2	2	*2*	2	2	*4*	4	4	*3*	3	3
1-1 jaar	*5*	5	6	*6*	6	7	*13*	14	15	*7*	8	8
1-10 jaar	*8*	9	9	*13*	13	14	*26*	28	30	*13*	15	15
1-100 jaar	*12*	13	14	*25*	26	28	*46*	50	53	*21*	24	25
1-1000 jaar	*18*	20	21	*44*	45	48	*73*	80	85	*31*	35	37

Tabel 5.8. Neerslagtotalen voor uurlijkse neerslagextremen, gebaseerd op het Hn-scenario (KNMI, 2024).

	Winter (DJF)			Lente (MAM)			Zomer (JJA)			Herfst (SON)		
relatief	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*2*	16%	24%	*2*	4%	16%	*4*	3%	16%	*3*	16%	28%
1-1 jaar	*5*	18%	28%	*6*	6%	20%	*13*	17%	31%	*7*	22%	38%
1-10 jaar	*8*	19%	30%	*13*	6%	20%	*26*	19%	33%	*13*	24%	41%
1-100 jaar	*12*	20%	31%	*25*	7%	20%	*46*	19%	33%	*21*	25%	42%
1-1000 jaar	*18*	20%	31%	*44*	7%	20%	*73*	20%	34%	*31*	25%	43%
absoluut	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**	***huidig***	**2050**	**2100**
10-1 jaar	*2*	3	3	*2*	2	3	*4*	4	4	*3*	3	4
1-1 jaar	*5*	6	6	*6*	7	7	*13*	13	15	*7*	8	9
1-10 jaar	*8*	9	10	*13*	14	15	*26*	29	31	*13*	16	17
1-100 jaar	*12*	15	16	*25*	27	29	*46*	51	55	*21*	25	28
1-1000 jaar	*18*	21	23	*44*	47	51	*73*	81	89	*31*	37	41

5.2.2 Lange periodes van neerslag of droogte

Het veranderende klimaat zorgt er niet alleen voor dat de frequentie en intensiteit van piekbuien toenemen. Ook neemt de totale neerslag op jaarbasis toe, en zo ook voor drie seizoenen (zie ook Tabel 5.1). Wanneer er gedurende langere periode neerslag valt dan kan dit ervoor zorgen dat de bodem verzadigd raakt. Dit betekent dat één van de mogelijkheden om wateroverlast te beperken op voorhand gelimiteerd is. Met andere woorden, de bodem kan geen water meer opnemen waardoor plasvorming zal ontstaan.

Dit heeft ook effect op de impact van piekbuien. Immers, wanneer een piekbui plaatsvindt in of vlak nadat er een periode van langdurige neerslag heeft plaatsgevonden, dan betekent dit dat water slechter tot niet geïnfiltreerd kan worden in de bodem. Een bui die valt tijdens of na een periode van langdurige neerslag heeft derhalve meer impact dan een bui welke valt in periodes waar geen sprake is (geweest) van langdurige neerslag, en de bodem minder verzadigd is.

Aan de andere kant kunnen periodes van (lange) droogte ook zorgen voor opdroging van de bodem. Droogte kan ervoor zorgen dat de bodem inklinkt, en het als het ware compacter wordt, met minder ‘ruimte’ voor water om de bodem te doorstromen. In andere woorden, de permeabiliteit van de bodem neemt af, waarmee de kans op acute wateroverlast toeneemt.

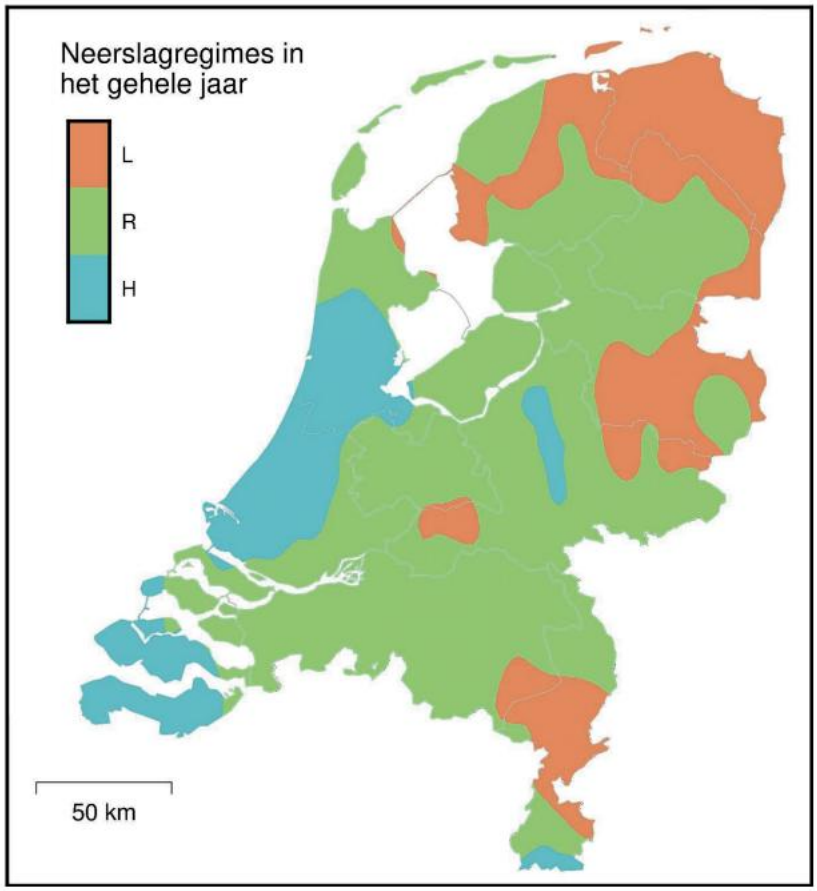
Naast een effect op de permeabiliteit van de bodem zullen periodes van lange neerslag of droogte ook een effect hebben op de grondwaterstand en bodemvochtgehalte. Lange periodes van droogte laten de grondwaterstand zakken, lange periodes van neerslag laten de grondwaterstand stijgen. Een veranderde grondwaterstand heeft invloed op de bergingscapaciteit van een gebied.

Periodes van langdurige droogte en neerslag kunnen binnen beide klimaatscenario’s plaatsvinden, wat er voor zorgt dat er meer schade zal ontstaan als gevolg van acute wateroverlast door piekbuien. Het effect zal niet variëren tussen beide scenario’s. De effecten zullen enkel binnen het Hn-scenario sterker optreden dan binnen het Ln-scenario.

5.2.3 Blootstelling

Blootstelling in de context van acute wateroverlast door piekbuien definiëren wij voor de gebouwde omgeving als gebouwen welke blootgesteld worden aan piekbuien. Aangezien piekbuien in heel Nederland kunnen voorkomen spreid de blootstelling aan piekbuien in principe over alle gebouwen in Nederland. Oftewel, de gehele gebouwde omgeving kan worden gedefinieerd als blootgesteld gebied.

Wel is er sprake van een regionale differentiatie in het voorkomen van neerslag. Figuur 5.6 toont de drie neerslagregimes welke er in Nederland bestaan, en laat zien dat er over het algemeen meer neerslag valt in het westen van Nederland, en dat er minder neerslag valt in het (noord/zuid)oosten van het land. Deze regimes zijn echter enkel toepasbaar op het jaarlijkse neerslagtotaal. Voor piekbuien is regionale differentiatie lastig aan te tonen, en zijn er dan ook geen regionale verschillen bekend.



Figuur 5.6. Neerslagregimes voor neerslag in Nederland (STOWA, 2019).

5.2.4 Gevoeligheid

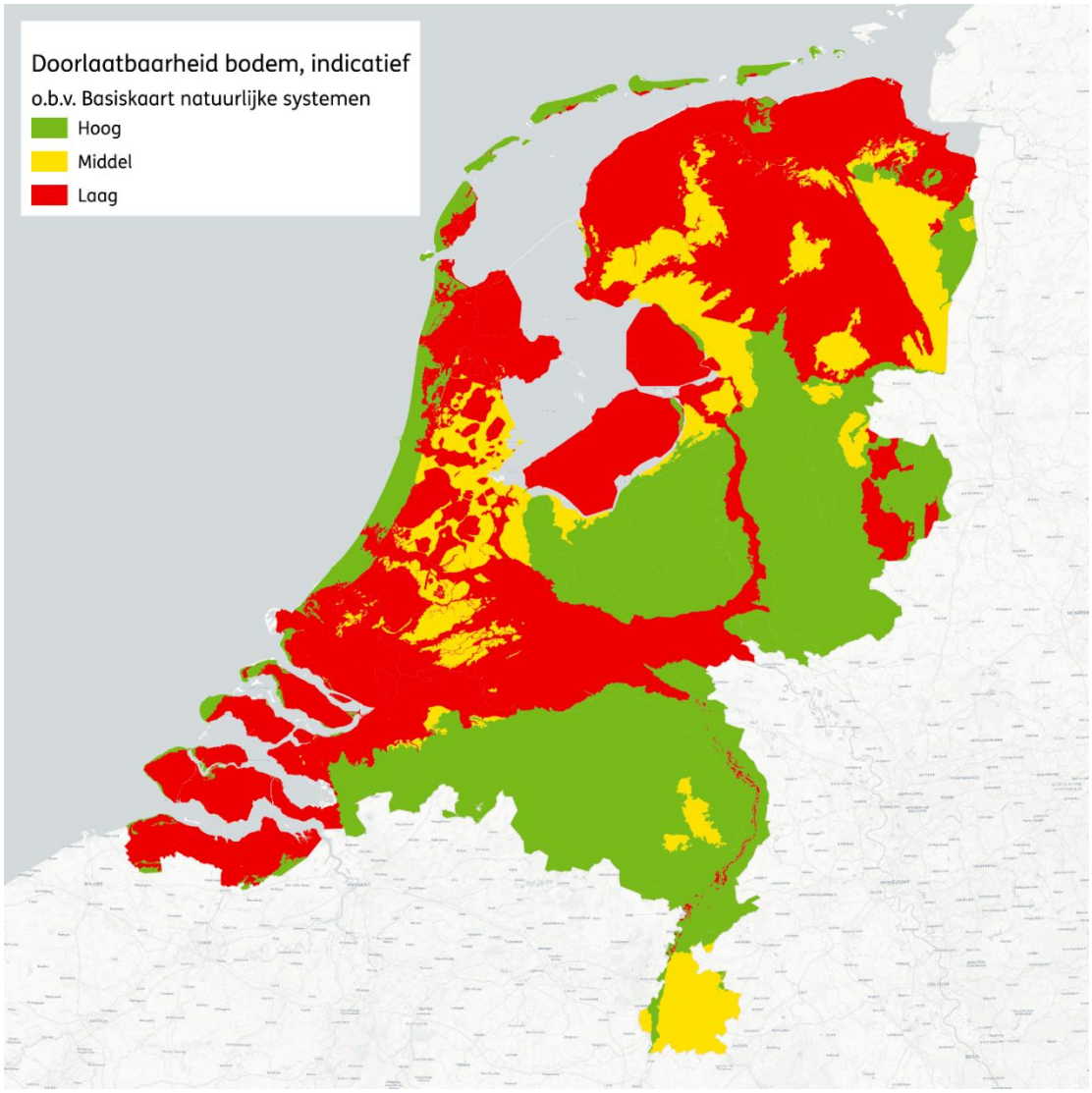
Gevoeligheid in de context van acute wateroverlast door piekbuien komt in twee varianten voor; gevoeligheid van de gebouwde omgeving, en gevoeligheid van de gebouwen. Het is van belang beide aspecten mee te nemen, en deze bespreken we dan ook separaat.

5.2.4.1 Gevoeligheid van de gebouwde omgeving

De gevoeligheid van de gebouwde omgeving voor acute wateroverlast door piekbuien wordt door een aantal aspecten bepaald. Deze worden hieronder besproken, met hierbij de vermelding dat deze niet één-op-één staan met acute wateroverlast. Immers, het is de samenhang van meerdere aspecten welke de gevoeligheid van een gebied bepalen.

Bodemtype

Iedere bodemtype heeft zijn eigen kenmerkende eigenschappen. De permeabiliteit (‘doorlaatbaarheid’) is één van deze eigenschappen. De permeabiliteit van de bodem bepaalt hoe makkelijk water door een grondlaag kan stromen. Zo hebben zandbodems een hogere permeabiliteit dan veenbodems, terwijl veenbodems op hun beurt water weer beter afvoeren dan kleibodems (MinIenW, 2025). In de praktijk betekent dit dat in situaties van acute wateroverlast het water bij zandbodems doorgaans sneller wordt afgevoerd, en dus minder lang op straat blijft staan, in vergelijking met veenbodems en kleibodems (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2025a). Hierbij wel de kanttekening dat de afvoersnelheid ook beïnvloed blijft door andere aspecten (bijv. hoogte van de grondwaterstand).



Figuur 5.7. Doorlaatbaarheid bodem (o.b.v. 'Basiskaart natuurlijk systeem hoofdtypen', CAS, 2025).

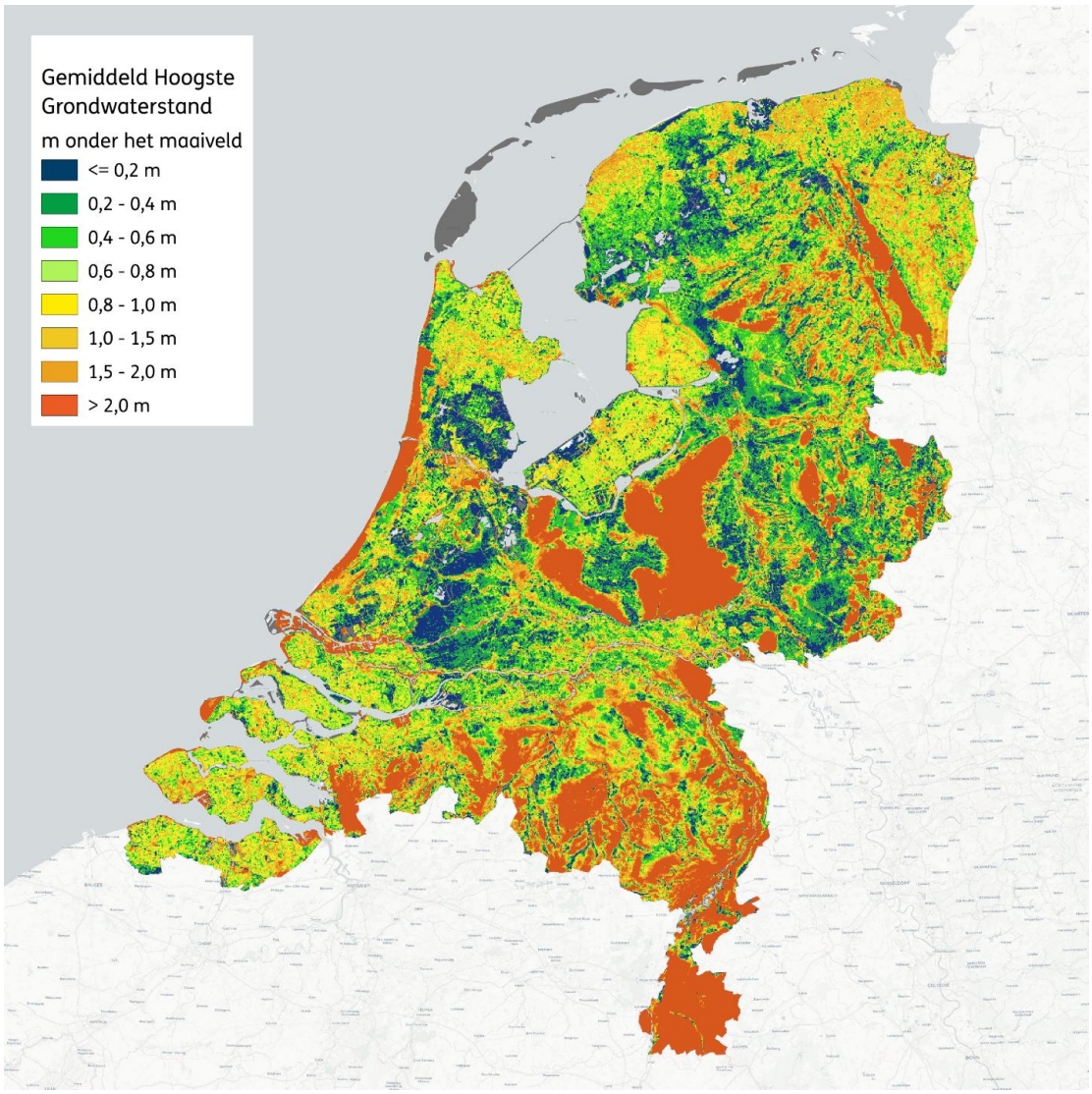
Andersom betekent dit dat kleibodems doorgaans het langste last blijven houden van acute wateroverlast, omdat water op deze plekken relatief langzaam natuurlijk wordt afgevoerd. Hierbij wordt uitgegaan van een stabiele hydratatiegraad van de bodem (i.e. de hoeveelheid water welke zich in de bodem bevindt). Periodes van (lange) droogte kunnen deze stabiele situatie echter doorbreken en zorgen voor opdroging van de bodem. ‘Lange Periodes van neerslag of droogte’ gaat hier dieper op in.

Figuur 5.7 toont een indicatie van de doorlaatbaarheid van de bodem op basis van het type bodem. Het gaat hierbij slechts om een indicatie, waarbij verschillende typen bodems aan drie hoofdklassen ten aanzien van doorlaatbaarheid zijn toegekend, op basis van hun doorlaatbaarheid. (Voor toelichting over de wijze van toekenning van klassen, zie ‘**Error! Reference source not found.**’). Ondanks dat deze kaart slechts indicatief is, gaat het in sommige gevallen om een factor 100 verschil in de doorlaatbaarheid van de bodem tussen de doorlaatbaarheid-hoofdklassen.

Grondwaterpeil

Het grondwaterpeil, meer specifiek de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) is een belangrijke indicator voor het mogelijk ontstaan van acute wateroverlast door piekbuien. Het is belangrijk te vermelden dat acute wateroverlast niet direct bij de eerste piekbui zal ontstaan als gevolg een hoge GHG. Echter, een opeenvolging van meerdere piekbuien heeft meer kans tot het creëren van acute wateroverlast in gebieden met een hoge GHG dan in gebieden met een lage GHG. Dit kan leiden tot een kritieke grondwaterstand waarbij kelders onderlopen, of zoals eerder vermeld, plasvorming ontstaat. Plasvorming wordt bovendien versterkt door het aanwezige bodemtype. Kleigronden zijn het gevoeligst voor plasvorming vanwege hun lage permeabiliteit.

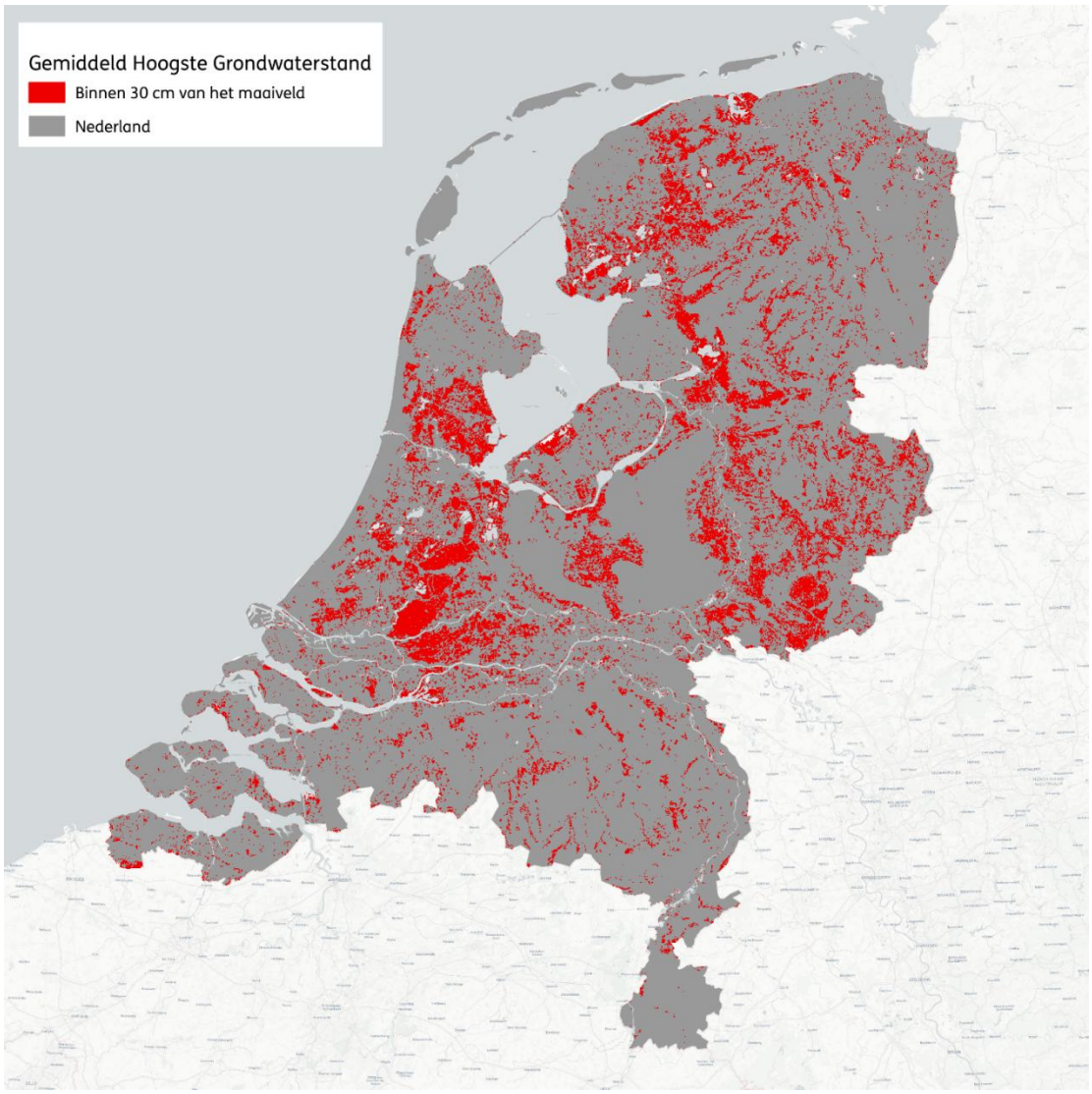
Gebieden met een hoge GHG zijn gevoeliger voor acute wateroverlast, omdat de bodem op deze locaties minder infiltratiecapaciteit biedt. De bodem is sneller verzadigd, waardoor water eerder aan het oppervlak zal blijven staan. Ruimtelijk gezien is er een grote variatie in het effect van de GHG. In Laag Nederland ligt het GHG dicht onder het maaiveld, terwijl deze in Hoog Nederland het verst van het maaiveld verwijderd zit (zie Figuur 5.8). Vaak wordt een GHG van 30 cm onder het maaiveld als grens gehanteerd voor gebieden welke te nat zijn voor bebouwing. Figuur 5.9 toont de gebieden waarin sprake is van een GHG binnen 30 cm van het maaiveld, en welke dus gecategoriseerd kunnen worden als ‘te nat’.



Figuur 5.8. Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand bij huidig klimaat (o.b.v. CAS, 2025).

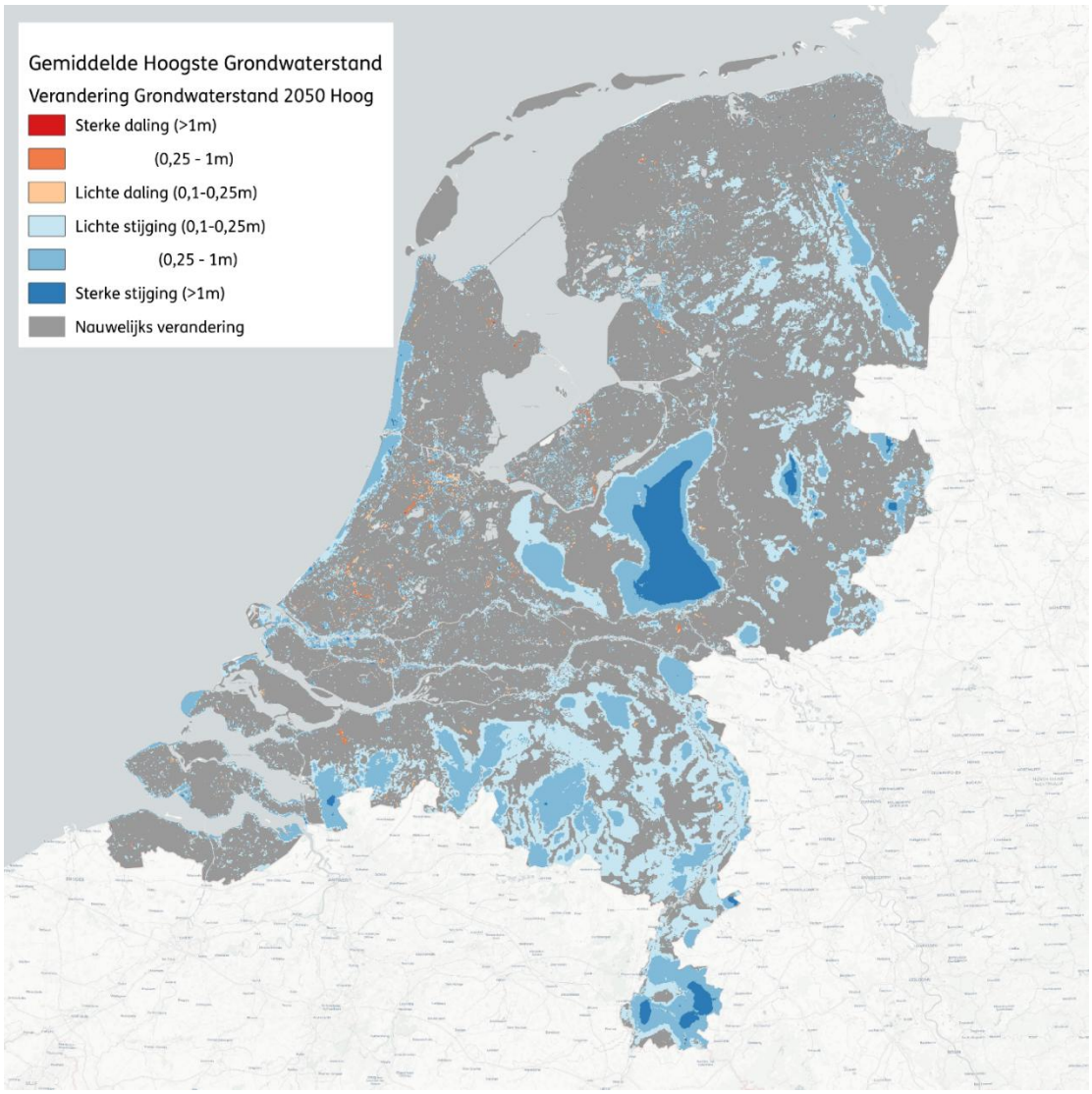
Bovendien wordt het effect van de GHG door enkele andere factoren versterkt. Allereerst, ligt de GHG in de winter gemiddeld hoger dan in de rest van het jaar. Dit komt door het eerder vermeldde gegeven dat in de winter meer neerslag valt (en gaat vallen). In sommige regio's doen waterschappen aan actief peilbeheer. Middels veranderingen in waterpeil, kunnen waterschappen een lagere grondwaterstand in de zomer opvangen door het peil te verhogen naar het zogenaamde zomerpeil. Hiermee zorgen ze ervoor dat de initiële droogte en lagere grondwaterstand zo min mogelijk negatieve effecten heeft op bijvoorbeeld landbouw.

Ten tweede wordt het effect van de GHG versterkt door bodemdaling. Door het inklinken of zakken van de bodem komt de GHG dichter bij het maaiveld te staan, met minder infiltratiecapaciteit tot gevolg. Dit verschijnsel wordt door peilbeheer veelal door waterschappen gecompenseerd. Ten derde treedt er op bepaalde plekken locatie specifieke kwel op. Hier wordt grondwater ook naar het oppervlak 'bewogen', met wederom minder infiltratiecapaciteit tot gevolg.



Figuur 5.9. Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand binnen 30 cm van het maaiveld (o.b.v. CAS, 2025).

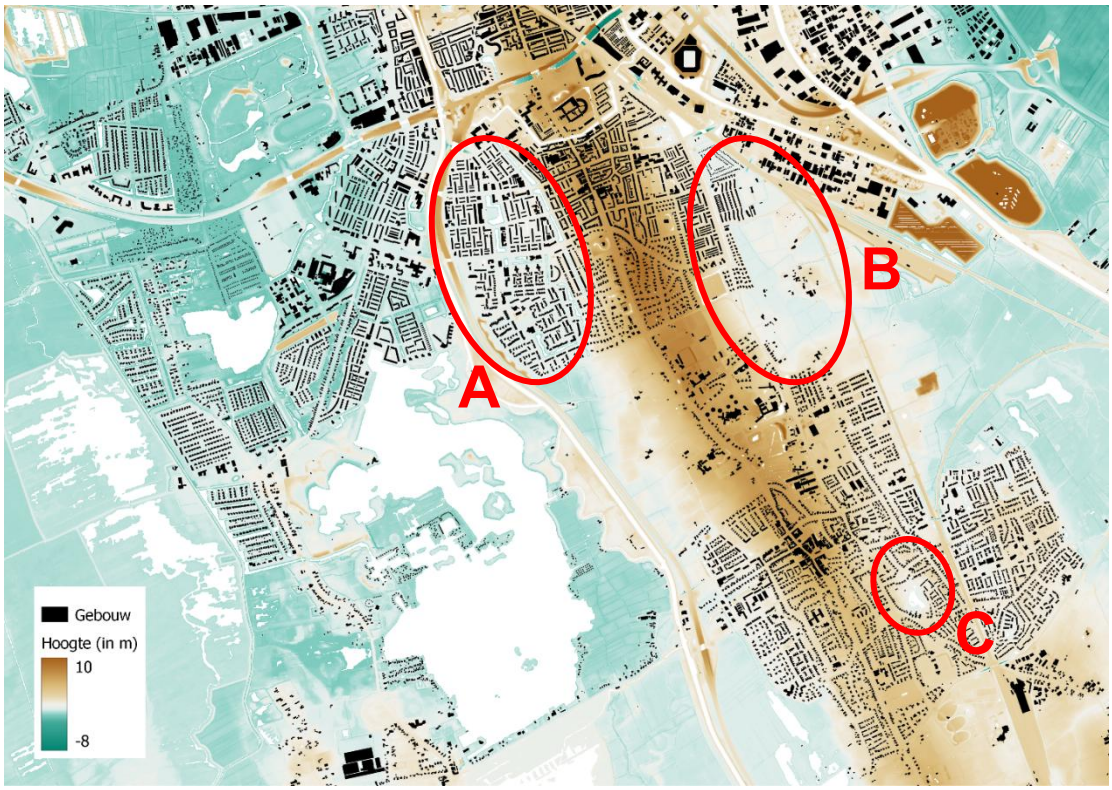
Ook richting 2050 is doorberekend wat het effect van klimaatverandering is op de GHG. Figuur 5.10 toont de verandering van de GHG richting 2050. Dit laat zien dat een stijging in de GHG voornamelijk voorkomt in de gebieden waar de GHG nu relatief diep ligt. Hierbij gaat het veelal om de zandgronden, en de heuvels in Limburg.



Figuur 5.10. Verandering Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand richting 2050 (o.b.v. CAS, 2025).

Reliëf, helling

Het reliëf dient op twee manieren als indicator voor de gevoeligheid van een gebied. Allereerst bepaalt de helling van een gebied de mate waarin water snel afgevoerd kan worden, uitgaande van een helling zonder obstakels. Ook hier dient de kanttekening geplaatst te worden dat een steilere helling bijdraagt aan een hogere stroomsnelheid van water. Dit heeft zowel voordelen als nadelen. Een hoge stroomsnelheid kan immers ook als gevolg hebben dat er meer erosie plaatsvindt, met eventuele schade als gevolg. Een ander nadeel is de afwenteling van neerslag van de ene locatie op de andere locatie. Door de helling kan de neerslag immers van het hogere naar het lagere gelegen gebied stromen. In Figuur 5.11 betekent dit mogelijke stroomrichtingen richtingen het noordoosten en het zuidwesten vanaf de Hondsrug (de bruine strook). Gebied A kan dus de mogelijke gevolgen van afwenteling ervaren.



Figuur 5.11. Hoogte in meters voor Groningen-Zuid en Haren (o.b.v. AHN4, 2025).

Kortom, een helling heeft de voordelen dat er geen water op locatie op het oppervlak blijft staan, maar tegelijkertijd draagt het ook de nadelen van erosie door een hoge stroomsnelheid. Echter, wat de exacte lokale risico's zijn als gevolg van een hoge stroomsnelheid dient op maat te worden onderzocht (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2025b).

Reliëf, bassinvorming

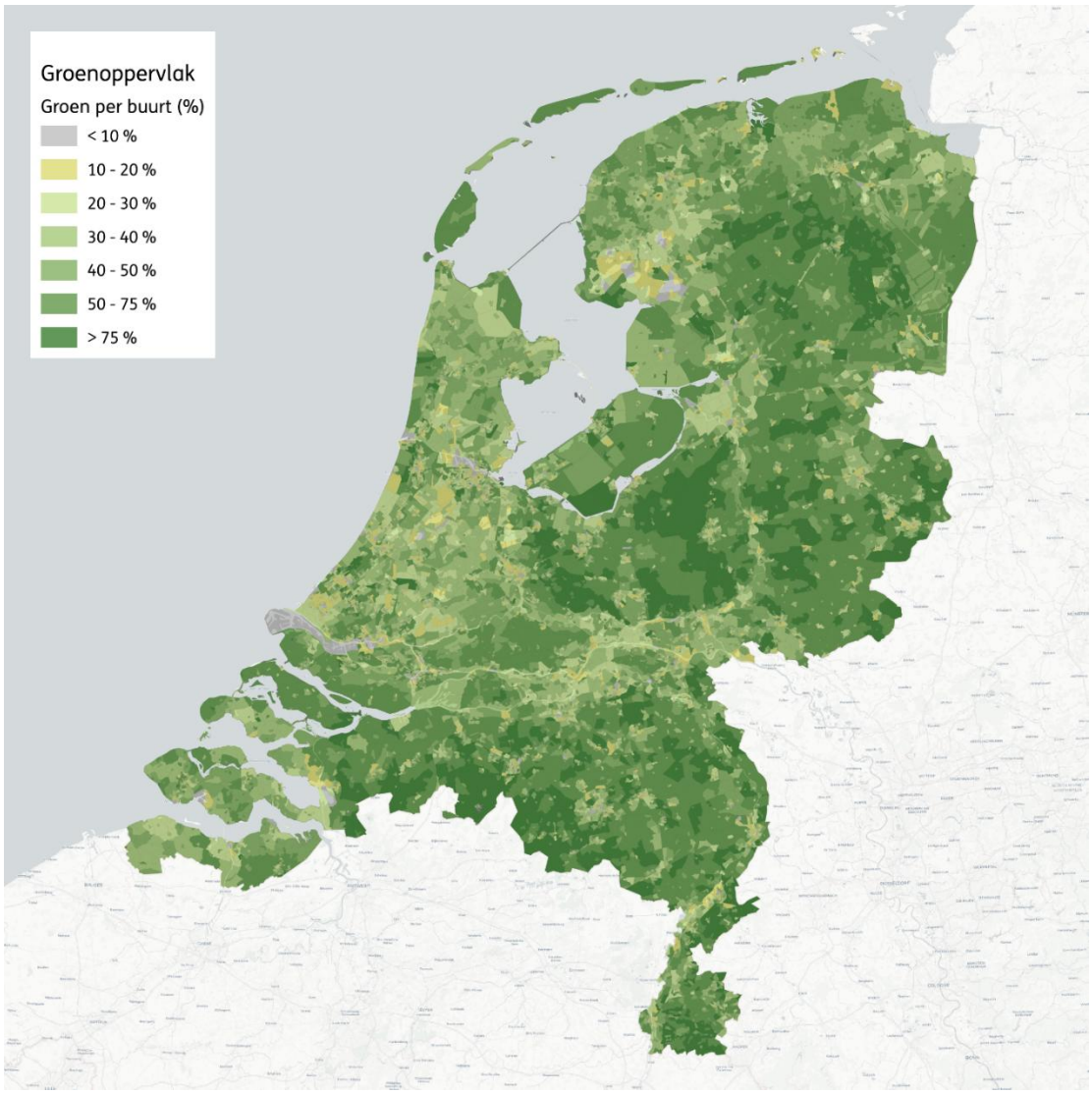
Een tweede afgeleide factor vanuit het reliëf is de aanwezigheid van bassins; landschappelijke elementen welke het diepste punt van het landschap zijn, en daarmee water opvangen. Poldergebieden zijn hiervan wellicht het bekendste voorbeeld. Deze gebieden liggen vaak lager dan hun omgeving en functioneren als het ware als een badkuip; water stroomt gemakkelijk dit gebied in, omdat dit het laagstgelegen punt is, en blijft hierdoor in het gebied hangen. Bovendien is er in dergelijke gevallen ook sprake van een verschil in bodemtype, waar de lager gelegen delen vaak kleiiger en/of veniger zijn dan de hoger gelegen gebieden, die vaker zanderiger of lemiger zijn. Ook op lager schaalniveau kunnen dergelijke bassins of badkuipen aanwezig zijn. Gebieden B en C zijn voorbeelden van dergelijke bassins (zie Figuur 5.11). Vanuit het perspectief van wateroverlast is het geruststellend dat hier weinig tot geen bebouwing bevindt. Ook in de context van toekomstige woningbouwlocaties is dergelijke kennis belangrijk mee te nemen.

Het is belangrijk om kennis te nemen van deze locaties, zeker in de gebouwde omgeving, omdat ook hier water natuurlijk naar de laagste punten stroomt. Bovendien biedt kennis over deze locaties ondersteuning in het beperken van de kwetsbaarheid van gebouwen.

Verhardingsgraad

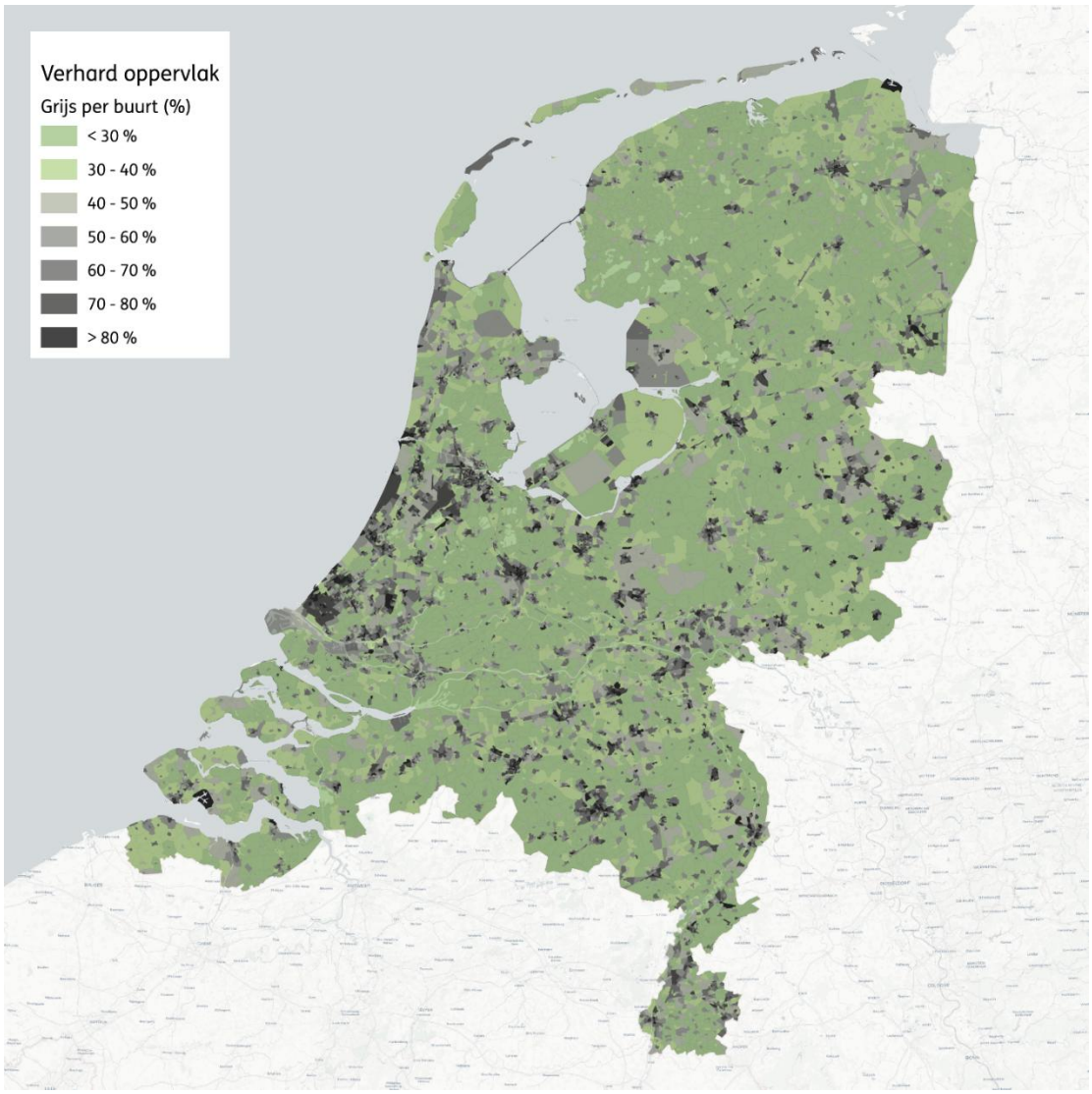
De gebouwde omgeving kan grofweg worden opgedeeld in drie categorieën: groen, blauw en grijs. Het eerste onderscheid dat gemaakt dient te worden is die tussen gebieden welke wel en niet verhard zijn. Bij verharde gebieden kan men denken aan bebouwing, infrastructuur, kunstwerken, etc. en wordt doorgaans aangeduid als ‘grijs’. Het niet-verharde gebied dient op haar beurt weer opgedeeld te worden in ‘natte’ natuurlijke elementen (e.g. sloten, vijvers en rivieren/beken/stromen) en ‘droge’ natuurlijke elementen (e.g. parken, bermen en bossen). De eerste wordt ook wel het ‘blauw’ van de gebouwde omgeving genoemd, en het tweede het ‘groen’ (PBL, 2023).

De verhouding tussen ‘groen’, ‘blauw’ en ‘grijs’ is een belangrijke indicator voor de mate waarop (overtollig) water opgevangen / afgevoerd kan worden. Het blauw kan men gebruiken als opvanglocatie voor hemelwater. Tegelijkertijd kan groen tijdelijk beter hemelwater opnemen en afvoeren dan grijs. Oftewel, hoe lager het aandeel grijs in de gebouwde omgeving, des te positiever het effect op de afvoer- en bergingscapaciteit van de gebouwde omgeving ten aanzien van hemelwater.



Figuur 5.12. Aandeel groen oppervlak per buurt (o.b.v. CAS, 2025).

Tegelijkertijd manifesteert acute wateroverlast zich voornamelijk in de gebouwde omgeving. Figuur 5.12 en Figuur 5.13 tonen daarom de lokale verhouding groen en grijs per buurt, maar dan ingezoomd op stadsniveau.



Figuur 5.13. Aandeel verhard oppervlak per buurt (o.b.v. CAS, 2025).

Een indicatie van de verhardingsgraad kan ook worden verkregen door het bekijken van infrarood-beelden. Wanneer een infrarood luchtfoto wordt gemaakt bepaalt het type oppervlak hoeveel infrarood er weerkaatst wordt. Zo weerkaatst vegetatie infrarood beter dan bestrating. Een infrarood-foto toont middels een rode kleur de mate van weerkaatsing; des te roder, des te meer weerkaatsing. Oftewel, des te roder, des te meer vegetatie.

5.2.4.2 Gevoeligheid van een gebouw

Onder gevoeligheid van een gebouw scharen we aspecten welke gebouwafhankelijk zijn. Oftewel, aspecten van of in een gebouw bepalen de mate van gevoeligheid van een gebouw.

Hieronder zullen we deze aspecten benoemen en toelichten. De mate van gevoeligheid zal niet/weinig veranderen tussen beide klimaatscenario's.

Drempelhoogte

De drempelhoogte bepaalt de gevoeligheid van een gebouw. Het gaat hier om het verschil tussen het maaiveld en de bovenkant van de drempel. De drempel kan in deze een daadwerkelijke drempel bij de ingang betekenen, maar het kan ook de aanwezigheid van een waterkeringsschot betreffen. In beide gevallen wordt het verschil tussen maaiveld en bovenkant van de drempel berekend door de hoogte van het maaiveld te nemen op een afstand van twee meter van de woning (DGBC, 2023b).

Type vloer

De type vloer bepaalt de gevoeligheid van een gebouw. Zo zorgt een houten vloer voor meer schade bij wateroverlast dan een stenen vloer. Het is dus behulpzaam om bij de bouw van een woning na te denken over mogelijke schadeposten bij situaties van acute wateroverlast. Wanneer de gevoeligheid van een pand hoog is, is het aan te raden deze te beperken door geen houten vloer (op de begaande grond) te gebruiken.

Hoogte elektrische apparaten

De hoogte van elektrische apparaten bepaalt de gevoeligheid van een gebouw. Elektrische apparaten zijn kwetsbaar voor wateroverlast. Wanneer deze getroffen worden door acute wateroverlast kan dit tot vervelende situaties en hoge kosten leiden. Omdat water veelal over drempels op vloerniveau de woning zal binnenstromen – als gevolg van hoge waterstanden op straat – zijn elektrische apparaten welke op een lage hoogte hangen kwetsbaarder dan elektrische apparaten welke hoger gemonteerd zijn.

Aanwezigheid terugslagklep

De aanwezigheid van een terugslagklep bepaalt de gevoeligheid van een gebouw. Ten tijde van acute wateroverlast kan water via de waterafvoer de woning binnenstromen, wanneer er geen terugslagklep aanwezig is. Een terugslagklep voorkomt het binnenstromen van ongewenst water van buiten.

Type riolering

De type riolering bepaalt de gevoeligheid van een gebouw. Enerzijds heb je een gemengd rioolstelsel. Hierbij komt afvalwater en regenwater samen in de riolering. In het geval van acute wateroverlast wordt het regenwater samen met het afvalwater geloosd in oppervlaktewater. Anderzijds is er een gescheiden rioolstelsel, waarbij regenwater gescheiden wordt afgevoerd. Dit type riool heeft doorgaans meer capaciteit waardoor minder snel sprake zal zijn van acute wateroverlast bij piekbuien. Bovendien heeft het gescheiden rioolstelsel veelal de mogelijkheid om hemelwater afzonderlijk af te voeren naar het oppervlaktewater of de bodem.

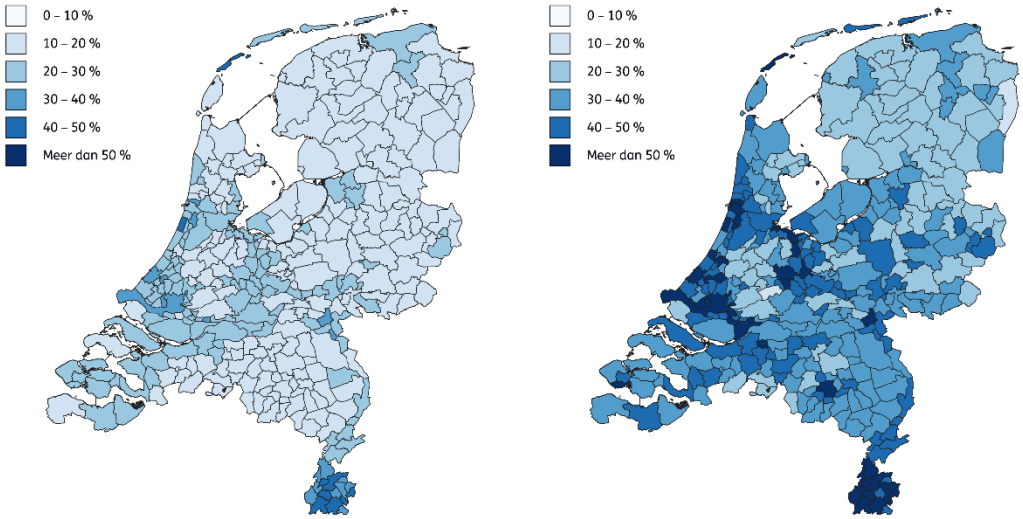
5.3 Impact

Piekbuien kunnen er in de toekomst voor zorgen dat in eerste instantie water op het maaiveld komt te staan. Wanneer de waterdiepte een bepaalde hoogte bereikt kan het voorkomen dat water gebouwen instroomt met schade aan gebouwen en inboedel als gevolg. (Regelgeving gaat uit van drempelwaarde van 20 cm aangaande de waterdiepte op het maaiveld, zie ook '**Error! Reference source not found.**'). Deze paragraaf gaat in op de mogelijke impact die bij verschillende buien kan ontstaan, en wat hierbij de ruimtelijke differentiatie is. Verdere analyses geven eerste inzichten in de relatie tussen adaptatiemaatregelen en impact, en sociale kwetsbaarheid en impact.

5.3.1 Aandeel getroffen panden bij twee typen buien

Om de impact acute wateroverlast door piekbuien op specifieke gebieden te berekenen, wordt veelal gebruik gemaakt van twee type buien; een bui die eens per honderd jaar valt, en een bui die eens per duizend jaar valt. In het eerste geval gaat het om een bui van 70 mm per twee uur, en in het tweede geval om een bui van 140 mm per twee uur. Voor beide buien zijn in de Klimaateffectatlas (CAS, 2025) kaarten beschikbaar gesteld welke de waterhoogte aan het oppervlak tonen. Bij de ontwikkeling van deze kaarten zijn wel meerdere aannames gemaakt. Zo is er één generieke waarde genomen voor de afvoercapaciteit van het riool (namelijk: 20 mm/u), en is er gebruik gemaakt van het AHN uit 2012, waardoor gebouwen die na die tijd zijn gebouwd niet meegenomen zijn.

Op basis van deze kaartlagen hebben wij een analyse uitgevoerd om de impact per gemeente te berekenen. Oftewel, wat is het aandeel getroffen panden door acute wateroverlast door piekbuien per gemeente. Figuur 5.14 laat het aandeel blootgestelde gebouwen per gemeente zien voor buien van 70 en 140 mm in twee uur, uitgaande van de drempelwaarde van 20 cm waterdiepte op het maaiveld. (Verdere assumpties en uitleg achter de totstandkoming van deze kaarten zijn te vinden onder '**Error! Reference source not found.**').



Figuur 5.14. Aandeel getroffen panden bij een bui van 70 mm / 2 uur (links) en 140 mm / 2 uur (rechts) (o.b.v. CAS, 2025).

Beide kaarten tonen een hoog aandeel getroffen panden in de regio's Zuid-Limburg, Vlieland, de Metropoolregio Rotterdam-Den Haag, en Haarlem en omstreken. Tegelijkertijd valt op dat

voor een bui van 140 mm per twee uur ook enkele gemeenten in Utrecht en Noord-Brabant een hoog aandeel in getroffen panden zien. Ter aanvulling op Figuur 5.14 tonen Tabel 5.9 en Tabel 5.10 de vijf gemeenten met het hoogste en laagste aandeel getroffen panden voor beide typen buien.

Tabel 5.9. Top vijf gemeenten met hoogste en laagste aandeel getroffen panden bij een bui van 70 mm per twee uur.

Top vijf gemeenten met hoogste aandeel getroffen panden bij een bui van 70 mm per twee uur.		Top vijf gemeenten met laagste aandeel getroffen panden bij een bui van 70 mm per twee uur.	
Gemeente	**Aandeel**	**Gemeente**	**Aandeel**
1.Vlieland	50,0 %	*1.Hoogeveen*	10,2 %
2.Beek	43,8 %	*2.Westerwolde*	11,2 %
3.Beekdaelen	42,7 %	*3.Wierden*	11,3 %
4.Valkenburg a.d. Geul	42,7 %	*4.Landsmeer*	11,6 %
5.Gulpen-Wittem	41,8 %	*5.Stede Broec*	11,7 %

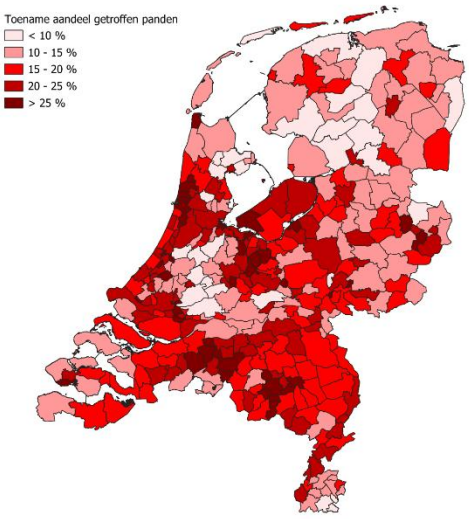
Tabel 5.10. Top vijf gemeenten met hoogste en laagste aandeel getroffen panden bij een bui van 140 mm per twee uur.

Top vijf gemeenten met hoogste aandeel getroffen panden bij een bui van 140 mm per twee uur.		Top vijf gemeenten met laagste aandeel getroffen panden bij een bui van 140 mm per twee uur.	
Gemeente	**Aandeel**	**Gemeente**	**Aandeel**
1.Vlieland	63,5 %	*1.Westerwolde*	18,6 %
2.Zandvoort	62,1 %	*2.Lopik*	18,7 %
3.Maastricht	61,5 %	*3.Drechterland*	20,1 %
4.Beverwijk	60,3 %	*4.Koggenland*	20,3 %
5.Haarlem	59,0 %	*5.Opsterland*	20,5 %

Zoals eerder vermeld komen bij een bui van 140 mm per twee uur een aantal extra regio's naar voren waar de impact hoog is. Figuur 5.15 toont aan welke gemeenten een sterk verhoogde impact laten zien bij een toename in de intensiteit van de buien. Dit figuur laat onder andere zien dat regio's zoals Zuid-Limburg en Vlieland, welke bij een bui van 70 mm per twee uur al veel impact ervaren, geen grote toename in impact zien wanneer de intensiteit van de bui toeneemt. Tegelijkertijd zijn er ook regio's welke in eerste instantie al sterk getroffen waren, en waar de impact sterk blijft toenemen. Dit geldt onder meer voor de regio Haarlem en de

Metropoolregio Rotterdam-Den Haag. Aan de andere kant is er ook een aantal regio's welke juist een sterke toename in impact ervaren naarmate de intensiteit van de bui toeneemt. Noord-Brabant en Twente zijn twee regio's waar deze sterke toename speelt.

Er is kortom geen directe relatie tussen de mate van impact bij een bui van 70 mm per uur en de mate van impact bij een bui van 140 mm per uur. Het is daarom interessant om te kijken welke variabelen bijdragen aan de sterke regionale variatie in impact tussen beide buien. De assumptie is dat de type ondergrond en het reliëf een belangrijke factor spelen in de variatie in impact tussen gebieden en type buien. Echter, dit is binnen de scope van deze studie niet onderzocht.



Figuur 5.15. Toename in aandeel getroffen panden tussen een bui van 70 mm en 140 mm per twee uur (o.b.v. CAS, 2025).

5.3.2 Financiële impact

Het Verbond van Verzekeraars (2025b) houdt een overzicht bij van de jaarlijkse schadekosten als gevolg van klimaatgebeurtenissen zoals schade door neerslag, overstroming of storm. Hier komt uit naar voren dat de jaarlijkse schade als gevolg van (piek)buien rond de honderd miljoen euro per jaar ligt. Het ligt in de lijn der verwachting dat een piekbuien met een hogere intensiteit, zoals deze in de komende decennia verwacht worden, tot verhoogde schadekosten zullen leiden, mits er weinig adaptatiemaatregelen getroffen worden.

Per voorval van schade als gevolg van wateroverlast door piekbuien zullen de kosten oplopen van enkele tot enkele tientallen miljoenen. Zo werden na de piekbui in Enschede in 2023 al 6,5 miljoen aan verzekeringen uitgekeerd (1Twente, 2025), en was er bij de bui in Münster, enkele tientallen kilometers over de grens in Duitsland sprake van 17 miljoen euro aan schade, alleen al voor de lokale overheid zelf (Stadt Münster, 2014).

De financiële impact van piekbuien is fors, zo laten de historische cijfers zien. Met een toename in intensiteit en frequentie van piekbuien is de kans groot dat de schadekosten over de komende decennia zal toenemen, wanneer adaptatiemaatregelen beperkt blijven.

Tegelijkertijd wordt er slecht gedocumenteerd over het aantal getroffenen per voorval. Bij de piekbui in Enschede werd gesproken over zestig zwaar getroffen huishoudens, van hen moest het huis na de schade gesloopt worden (NOS, 2025).

5.3.3 Schimmelvorming

Een aspect welke specifiek belangrijk is om mee te nemen in onderzoek naar de impact van acute wateroverlast is schimmelvorming. Er zijn twee processen welke de schimmelvorming als gevolg van acute wateroverlast duiden.

Allereerst kan water gedurende en net na een piekbui de woning binnenstromen. Dit kan zorgen voor onder meer vochtige vloeren, muren, en kelders, met daarbij een verhoogd risico op schimmelvorming (Platform voor duurzame financiering, 2023). Het risico op schimmelvorming is hier afhankelijk van omgevingsfactoren zoals afvoer- en infiltratiecapaciteit van hemelwater, maar ook technische aspecten van het gebouw zoals drempelhoogte of mate van waterafstotende werking van muren en vloeren.

Ten tweede kan acute wateroverlast ook effect hebben op schimmelvorming via grondwater. Wanneer hemelwater in de bodem infiltreert doet dit de grondwaterstand stijgen. Op een locatie met een hoge grondwaterstand, of in het geval van een periode met een hogere frequentie aan (piek)buien kan een verhoogde grondwaterstand leiden tot natte of vochtige kelders en kruipruimtes, met schimmelvorming als gevolg (DGBC, 2023a; Erfgoedhuis Zuid-Holland, 2024).

5.4 Adaptatiemaatregelen acute wateroverlast

5.4.1 Adaptatie in het huidige beleid

5.4.1.1 Normeringen

Ten aanzien van acute wateroverlast zijn er een aantal normen vastgesteld welke een indicatie geven voor de toegestane hoeveelheid wateroverlast.
Tabel 5.11 toont een overzicht van de normen zoals destijds geldend conform de Waterwet. Dit zijn normen die hedendaags ook vaak nog geldend zijn, al wordt er lokaal wel eens van afgeweken.

Tabel 5.11. Normen voor wateroverlast (IPLO, 2025).

Normklasse gerelateerd aan grondgebruiktype	Maaiveld-criterium	Basis-werkcriterium
Grasland	5 %	1/10
Akkerbouw	1 %	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1 %	1/50
Glastuinbouw	1 %	1/50
Bebouwd gebied	0 %	1/100

Het maaiveld-criterium stelt welk percentage van het maaiveld niet aan de gestelde norm hoeft te voldoen. In het geval van de gebouwde omgeving gaat dit om een waterdiepte van meer

dan 20 cm (HKV lijn in water, TAUW & Defacto stedenbouw, 2023). Dit betekent dat voor nul procent van de gebouwde omgeving water meer dan 20 cm aan het maaiveld mag staan.

Het basis-werkcriterium stelt daarentegen de frequentie van overschrijding van het maaiveld-criterium. In het geval van de gebouwde omgeving gaat dit om eens in de honderd jaar, en om overschrijding van eerdere genoemde waterdiepte van 20 cm. In andere woorden, bij een bui die eens in de honderd jaar voorkomt mag op nul procent van het oppervlak van de gebouwde omgeving een water aan het maaiveld staan met een diepte van meer dan 20 cm.

Tegelijkertijd toont onderzoek van STOWA dat normeringen over provincies en waterschappen kunnen variëren en dat in de meeste gevallen de gebouwde omgeving is onderverdeeld in enkele categorieën, te weten: ‘Bebouwing’, ‘Hoofdinfrastructuur en spoorwegen’, ‘Overig (parken, plantsoenen, sportvelden)’, en ‘Glastuinbouw’. Voor de eerste twee categorieën wordt veelal het werkcriterium 1/100 gehanteerd, zoals ook in algemene zin het bebouwd gebied betreft. Hier dient wel de notie gemaakt te worden dat het Waterschap Limburg voor het heuvelland een werkcriterium van 1/25 hanteert. De enkele provincies die een werkcriterium voor ‘Glastuinbouw’ hanteren gaan hier uit van 1/50, en voor de categorie ‘Overig’ wordt veelal uitgegaan van 1/10 (STOWA, 2021a).

5.4.1.2 Voorkeursvolgorde om wateroverlast te voorkomen

Om de gevolgen van acute wateroverlast zo veel mogelijk te beperken, is de volgende voorkeursvolgorde opgesteld voor het omgaan met acute wateroverlast door piekbuien (TAUW & Arcadis, 2022b):

1. Benutten en besparen;
2. Vasthouden en infiltreren;
3. Bergen, en;
4. Afvoeren.

Het Nationaal Water Programma (NWP) 2022-2027 geeft nog een aanvulling op deze voorkeursvolgorde; en stelt dat het belangrijk is om voorafgaand aan deze stappen ‘bij ruimtelijke inrichting rekening te houden met water’ (Rijksoverheid, 2022). (Zie ook de ambitie van de Tweede Kamer t.a.v. ‘Water en Bodem Sturend’, welke nader uitgewerkt is in Adaptatiemaatregelen). Ook sluit het NWP af met de stap ‘accepteren van het restrisico’. Deze stap is voor de beeldvorming van de collectieve verantwoordelijk van groot belang. Acute wateroverlast is immers nooit volledig te voorkomen, en deze gedachte benadrukt het belang van maatregelen én voorbereidheid door overheden en burgers. Bij het gebruiken van een voorkeursvolgorde wordt wel benadrukt dat het behulpzaam is wanneer ook duidelijk gedefinieerd wordt wat de specifieke stappen betreffen (TAUW & Arcadis, 2022a).

5.4.1.3 Verhogen bewustzijn

Het voorgaande stuk gaf al aan dat beeldvorming omtrent risico’s en verantwoordelijkheden een grote rol speelt in de aanpak rondom acute wateroverlast. Ook de NAS duidde het belang van bewustzijnsverhoging (MinIenM, 2016). De urgentie voor klimaatadaptief handelen om de gevolgen van acute wateroverlast te beperken is hoog. Het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie onderstreept deze urgentie en stelt dat ‘waterbewustzijn’ de basislaag moet zijn voor bescherming tegen acute wateroverlast. Bewustzijn van de risico’s en de mogelijkheden en verantwoordelijkheden ten aanzien van het nemen van maatregelen staan hierbij voorop (MinIenW, 2023).

Voor hittestress geldt dat het huidige rijksbeleid grotendeels richtinggevend is en beperkt juridisch afdwingbaar, met een duidelijk onderscheid tussen nieuwbouw en bestaande bouw. Voor nieuwbouwwoningen is er wél sturing via regelgeving: binnen de Omgevingswet is een verplichte toetsing aan de TO-juli norm opgenomen, waarmee ontwikkelaars verplicht worden om bij risico op oververhitting bouwkundige en/of installatietechnische maatregelen mee te nemen.

5.4.2 Mogelijke adaptatiemaatregelen voor acute wateroverlast

5.4.2.1 Ruimtelijke maatregelen

Maatlat klimaat-adaptieve gebouwde omgeving

In het conceptrapport van de adviesgroep STOER is naar voren gekomen dat er een wens is om normstelling eenduidiger te maken voor piekbuien (MinVRO, 2025a). Dit om ervoor te zorgen dat berekeningen van wateroverlast uitgaan van dezelfde type buien, en hiermee vergelijkbaar zijn. De eerder al veelvuldig gebruikte normstelling van 70 mm per uur wordt hiervoor genoemd. Dit betreft een bui welke doorgaans gekenmerkt wordt als een bui die eens in de honderd jaar op een bepaalde plek voorkomt.

In een hierop volgend kamerstuk wordt dit advies overgebracht aan de Tweede Kamer en wordt gesteld dat de maatlat aangepast gaat worden, waarbij deze enkel gebiedsinrichting zal aangaan, en niet meer toegespitst wordt op gebouwen an sich (MinVRO, 2025b). Ook wordt de maatlat aangepast zodat het middels standaardisatie een wildgroei aan regelgeving – en bijbehorende belemmeringen – inperkt.

Water en Bodem Sturend

Reeds in 2022 toonde het kabinet haar ambities om water en bodem meer sturend te maken bij ruimtelijke opgaven. Er zitten immers grenzen aan het water- en bodemsysteem, zo was de gedachte hierachter. Wanneer hier bij ruimtelijke opgaven geen rekening mee wordt gehouden kan dit in de toekomst leiden tot grote problemen ten aanzien van het water- en bodemsysteem.

Een herziening op de ambities vanuit Water en Bodem Sturend heeft geleid tot de volgende aanscherping. Het water- en bodemsysteem dienen niet bepalend te zijn voor ruimtelijke opgaven, maar er dient nadrukkelijk *rekening te worden gehouden met* het water- en bodemsysteem bij ruimtelijke opgaven.

Er zijn reeds enkele ontwikkelrichtingen voorgesteld wat het rekening houden met water en bodem in de praktijk kan betekenen. Toch is het van belang om helderder te hebben op welke aspecten vanuit het water- en bodemsysteem er bij ruimtelijke opgaven rekening moet worden gehouden.

5.4.2.2 Technische maatregelen

Vergroten bergingscapaciteit

Er worden vraagtekens gesteld of de huidige normering (1 kuub (1000 liter) hemelwateropvang per 15 à 20 vierkante meter verhard oppervlak) voor de geprojecteerde toename in intensiteit van piekbuien nog wel toereikend is.

Het gaat hier nadrukkelijk om berging van hemelwater op publiek én privaat terrein. Ook worden aanvullende randvoorwaarden gesteld voor de effectiviteit van dergelijke normeringen, namelijk:

- Overheden dienen expliciet beleid te maken op deze aanpak voor waterberging op publiek en privaat terrein, en dienen hier nadrukkelijk middelen voor vrij te maken.
- Maatregelen op privaat terrein vergt nadrukkelijk overleg en afstemming met woning- en grondbezitters.
- Pas wanneer voldoende eigenaren maatregelen nemen leveren de maatregelen een significante bijdrage aan het adaptief maken van de buurt ten aanzien van acute wateroverlast.

Richting de toekomst wordt gesteld 2 m^3 waterberging per woning voldoende is om een bui van 40 mm zelf op te vangen (uitgaande van een dakoppervlak van 50 vierkante meter), en dat het realiseren én in stand houden per kuub waterberging 500 euro omvat (Stroomversnelling, 2016). Dit wordt gezien als een betaalbare maatregel voor huishoudens.

De opvang kan deels gerealiseerd worden door het aanschaffen van een regenwaterton en al het water dat op het dakoppervlak van het gebouw valt hierin op te vangen. Ook kan er in de publieke (en mogelijk zelfs private) ruimte een wadi of een stedelijk waterelement (bijv. een waterplein) gecreëerd worden (Waterschap Limburg, 2025b), welke in het geval van acute wateroverlast overtollig water kan bergen.

Vergroten infiltratiecapaciteit: Verminderen verhard oppervlak

Er is een veelvoud aan maatregelen mogelijk om het verharde oppervlak te verminderen. De meest voor de hand liggende optie is simpelweg het vervangen van bestrating door groen of andere goed doorlaatbare bodembedekkers (bijv. grind). De effectiviteit van dergelijke maatregelen is echter wel afhankelijk van de type bodem en de grondwaterstand (Stroomversnelling, 2016) (zie meer info: ‘Gevoeligheid’).

Wanneer er groen in de plaats van de bestrating zou komen levert dit allerlei voordelen op. Zo blijft veel neerslag in bomen en planten hangen, zorgen hun wortels voor een betere doorlaatbaarheid van de bodem, en zorgen dezelfde bomen en planten voor verdamping door water uit de bodem op te zuigen via hun wortels (NKWK, 2017). Echter, zoals eerder vermeld kunnen groeningrepen ook nadelig zijn voor de omgeving. Denk hierbij bijvoorbeeld aan onttrekking van grondwater door bomen met mogelijk funderingsschade tot gevolg.

Het is hierbij wel belangrijk om te vermelden dat dergelijke maatregelen gericht op het verminderen van het verhard oppervlak vooral effectief worden wanneer hiervoor schaal wordt gemaakt. Wanneer in een buurt de ene tuin vergroend wordt, maar alle omliggende tuinen voor het overgrote deel uit bestrating blijven bestaan, dan kan dit in het slechtste geval betekenen dat alle neerslag die op de omliggende tuinen valt naar de vergroende tuin stroomt (in het geval deze net iets lager gelegen is). Om deze dan nog te ontzien van wateroverlast zijn in zekere

zin maatregelen nodig die de totale neerslagsom van de eigen tuin én alle omliggende tuinen dekken. Kortom, maatregelen worden pas écht effectief wanneer deze bredere uitgevoerd worden.

Vergroten infiltratiecapaciteit: Verlagen grondwaterpeil

Het verlagen van het grondwaterpeil is één van de opties om de impact van piekbuien te verminderen. Een verlaging van het grondwaterpeil betekent immers meer infiltratiecapaciteit in de bodem, zodat de bodem meer regenwater kan bergen.

Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat het grondwaterpeil ook voor andere sectoren een belangrijk component is. Denk bijvoorbeeld aan de landbouw, maar ook aan huidige bebouwing. Wanneer het grondwaterpeil verlaagd zal worden kan dit bijvoorbeeld negatieve effecten opleveren voor de funderingen van huidige gebouwen, resulterend in een verhoogde/versnelde kans op funderingsschade. Het is dus van belang actief met andere sectoren en belanghebbenden om tafel te gaan op welke schaal aanpassingen aan het grondwaterpeil wel of niet kunnen worden doorgevoerd.

Vergroten infiltratiecapaciteit: Aanbrengen infiltratiekratten

De aanleg van infiltratiekratten kan er bij wateroverlast voor zorgen dat hemelwater makkelijk infiltreert in de bodem (Waterschap Limburg, 2025b). Niet alleen zorgt dit er voor dat water minder aan het oppervlak blijft staan, ook beperkt dit de afstroom van hemelwater richting de riolering.

Tegelijkertijd is de aanleg van infiltratiekratten vanuit duurzaamheidsperspectief mogelijk niet de beste optie. Deze kratten bestaan vaak uit plastic, en plastic in de bodem is vanuit duurzaamheidsperspectief mogelijk niet de juiste keuze.

Vergroten afvoercapaciteit: Ingrepen aan riolering

Het huidige rioolstelsel is niet gebouwd om piekbuien direct te kunnen verwerken. Veelal is riolering tegenwoordig ingesteld op het bergen van 10 millimeter neerslag en het afvoeren van 20 millimeter per uur.

Ingrepen in de riolering kunnen grofweg worden opgedeeld in twee categorieën: i) vergroten capaciteit riolering, en ii) afkoppelen riolering. Geregeld wordt gesteld dat ingrepen in de riolering veelal te duur worden geacht om op grote schaal uit te voeren (NKWK, 2017). Het is daarom van belang om deze ingrepen in samenhang met andere technische en niet-technische maatregelen te bekijken. De mogelijke uitwerking van de categorieën zal hieronder worden toegelicht.

Allereerst, het vergroten afvoercapaciteit riolering. Ondanks dat dit een maatregel is welke voldoende invloed heeft op het vergroten van de afvoercapaciteit (RIONED, 2019a), is een dergelijke ingreep duur en levert het relatief weinig op voor de investeringen die het vraagt (HKV lijn in water, TAUW & Defacto Stedenbouw, 2023).

Ten tweede, afkoppelen van riolering. Veelal betreft het huidige rioleringssysteem gemengde riolering. Hierbij wordt afvalwater en hemelwater gezamenlijk afgevoerd. In het geval van acute wateroverlast bestaat hierbij het risico dat afvalwater terecht komt in oppervlaktewater of op het maaiveld (Atlas Natuurlijk Kapitaal, 2025). Dit kan negatieve effecten voor de gezondheid van omwonenden. Hiervoor geldt dat enkel afkoppelen van beide waterstromen weinig effect

heeft op het verhogen van de afvoercapaciteit. Enkel in samenhang met vergroten van de capaciteit van de riolering wordt het doel van een verhoogde afvoercapaciteit bereikt (RIONED, 2019a). Echter, hier komt weer het vraagstuk van kosteneffectiviteit om de hoek kijken.

Beide opties zijn ingrepen met een hoog prijskaartje, waarbij de maatregelen mogelijk niet altijd de mate van effect hebben. Het is dus relevant na te gaan of de benodigde investering in ingrepen aan de riolering de gewenste doelen teweeg brengt, of dat er uit het oogpunt van kosteneffectiviteit beter andere maatregelen getroffen kunnen worden.

Technische ingrepen in en aan het gebouw

Naast allerlei ingrepen in de gebouwde omgeving die ervoor dienen te zorgen dat gebouwen niet getroffen zullen worden door acute wateroverlast, zijn er ook nog enkele ingrepen in het gebouw zelf die schade kunnen beperken wanneer het gebouw toch getroffen wordt door acute wateroverlast.

Allereerst kan middels een waterdichte rand aan de gevel of een drempel in de nabijheid van de gevel voorkomen worden dat water het gebouw binnentreedt. Hierdoor zal pas in het geval van een hogere waterstand schade ontstaan dan voorheen, in de situatie waarin geen waterdichte rand of drempel bescherming bood aan het gebouw.

Daarnaast kunnen binnenshuis maatregelen worden getroffen om schade door acute wateroverlast te limiteren. Zo kunnen kwetsbare apparaten (veelal elektrische apparaten) op een hogere verdieping, of – indien dit niet mogelijk is – hoger boven het maaiveld worden geplaatst. Ook kan voor een ander type vloer gekozen worden. Een stenen vloer zal immers tot minder schade leiden dan een houten vloer bij wateroverlast.

Tenslotte kan er ook voor gekozen worden om afvoeren hoger aan te leggen. Wanneer deze hoger worden aangelegd (bij voorkeur minstens 15 tot 20 cm boven het maaiveld), beperkt dit de kans dat weter via deze afvoeren de woningen binnenstroomt, wanneer er sprake is van acute wateroverlast. Indien dit niet mogelijk is kan gekozen worden voor een terugslagklep (NKWK, 2017). Deze voorkomt het binnenstromen van water via deze afvoeren.

Voor meer informatie over allerlei maatregelen die genomen kunnen worden om schade in de eigen woning te beperken verwijzen we naar:

- https://www.waterschaplimburg.nl/uwbuurt/landingspagina/schade-beperken/

5.4.2.3 Stimuleringsmechanismen

De huidige opzet van belastingen zorgen niet voor een stimulans voor huiseigenaren om zelf te investeren in maatregelen. De manier waarop de rioolheffing en de waterschapsbelasting tegenwoordig is ingericht gaat er immers van uit dat er slechts door twee partijen geïnvesteerd wordt in het (publieke) watersysteem. Het gaat hier om de gemeente en het waterschap. In tegenstelling tot het gemeente en het waterschap – welke zelf de kosten en baten uitbalanceren – hebben woningeigenaren geen terugverdienmechanisme voor klimaat-adaptieve maatregelen op privaat terrein ten behoeve van acute wateroverlast. Het is dus van belang om stimuleringsmechanismen op te stellen welke ervoor zorgen dat woningeigenaren sneller investeringen zullen doen. Hiervoor zijn meerdere oplossingsmogelijkheden geposeerd, welke hieronder nader zullen worden toegelicht (Stroomversnelling, 2016).

Financieel: Co-investeren

Een overheid kan bewoners ondersteunen in het uitbalanceren van kosten en baten door een deel van de kosten op zich te nemen. Dit noemt men co-investeren, en dit kan op verschillende manieren plaatsvinden. Subsidies zijn de meest voorkomende type co-investerings-vehikel. Subsidies kunnen in allerlei vormen en maten voorkomen, van vaste bedragen, tot bedragen gekoppeld aan prestatie-eisen. Dergelijke prijsprikkels kunnen burgers en bedrijven verleiden om ander gedrag te vertonen ten aanzien van hun opstelling tot klimaatadaptatie (WRR, 2025). Ook kan het verschillen van subsidies voor één specifieke woning tot subsidies die worden verstrekt aan een groep partijen of bewoners voor het gezamenlijk aangaan van klimaat-adaptieve maatregelen. Deze laatste, collectieve optie heeft het voordeel dat het een zeker niveau van schaal maakt, en derhalve meer zekerheid in effectiviteit heeft.

Financieel: Differentiëren op heffingen en belastingen

Een andere manier waarop een overheid bewoners kan ondersteunen in het uitbalanceren van kosten en baten is door middels differentiatie op heffingen en belastingen een zekere verhoging van de baten te veroorzaken. Immers, een differentiatie op heffingen of belastingen leidt tot minder uitgaven aan deze heffingen en belastingen wanneer bepaalde klimaat-adaptieve maatregelen worden genomen.

Bewustwording creëren

De samenleving is nog te weinig bewust van de risico's van acute wateroverlast. In het veld wordt ervaren dat bewoners nog te weinig oog hebben voor een mogelijke blootstelling aan acute wateroverlast, en wat dit mogelijk voor hen betekent, qua impact, maar ook qua schade afhandeling. Hedendaags wordt de blik vaak op overheidslagen gericht wanneer het gaat over maatregelen die genomen moeten worden, of wanneer het afhandelen en financieren van schade.

Om meer helderheid en bewustwording te creëren worden de volgende aspecten genoemd die hieraan een bijdrage kunnen leveren:

1. Gebruik positieve terminologie verhoogt intrinsieke motivatie. De term 'klimaatadaptatie' wordt niet per definitie omgeven door positieve connotaties. Sterker, klimaatadaptatie wordt in de politieke context wel eens van het stempel 'links' voorzien. Dit maakt dat klimaatadaptatie een thema is geworden waar niet iedereen zich mee kan verenigen. Het hanteren van een positievere framing kan zorgen voor een hogere motivatie bij bewoners om klimaatadaptief te handelen. Immers, minder schade door acute wateroverlast, dat wil toch iedereen?
2. Burgerparticipatie zorgt voor een betere betrokkenheid bewoners. Het actief meenemen van bewoners in het nemen van maatregelen ten aanzien van klimaatadaptatie helpt om bewoners te laten zien dat ze zelf ook een positieve bijdrage kunnen leveren. Het NK Tegelwippen is hiervoor illustratief. Maar ook de mogelijkheid tot kosteloos aanleg van geveltuintjes werkt bevorderend.
3. Schep duidelijkheid over de rol van overheden én bewoners. Zoals gezegd wordt er vaak naar overheden gekeken als de partij die de gehele zorgplicht van preventie tot afhandeling draagt. Echter, ook bewoners hebben een eigen verantwoordelijkheid te nemen, zo stellen overheden. Bewoners dienen zelf ook actief kennis te nemen van mogelijke risico's op wateroverlast wanneer men ergens een huis koopt. Bij huizen in een gebied met een hoger risico op wateroverlast kan het in toekomstige gevallen betekenen dat er een lagere vergoeding zal worden uitgekeerd. In Duitsland is het

bijvoorbeeld al het geval dat verzekeraars in risicovolle gebieden niks meer uitkeren. Een overheid kan hier ondersteunend in zijn door voorlichting te geven over eventuele risico's en maatregelen welke burgers kunnen nemen om adaptief op te stellen tegenover deze risico's (WRR, 2025).

Verplichtingen stellen

Wanneer vrijwillige stimuleringsmechanismen niet voldoende effect blijken te hebben, of wanneer er wordt verwacht dat een vrijwillige basis niet genoeg teweegbrengt, dan is het gemeenten ook toegestaan om middel wet- en regelgeving verplichtingen te stellen ten aanzien van het nemen van adaptatiemaatregelen. Neem bijvoorbeeld de hemelwaterverordening waarin gemeenten kunnen stellen dat er zowel bij bestaande bouw als bij nieuwbouw waterberging moet worden gerealiseerd (RIONED, 2019b) of waarin een verbod tot het lozen van hemel- of grondwater op de riolering voor inwoners van een bepaald gebied (Stroomversnelling, 2016). Ook kan een gemeente in de Woonvisie afspraken met woningcorporaties maken met betrekking tot klimaatadaptieve maatregelen (Stroomversnelling, 2016). Kortom, via regulering kan een overheid invloed uitoefenen op de klimaatadaptiviteit van een pand of gebied, door hieraan eisen en/of verplichtingen te stellen (WRR, 2025).

5.4.2.4 Financiële adaptatie

Naast ruimtelijke en technische maatregelen en stimuleringsmechanismen, welke allen bedoeld zijn om proactief de gevoeligheid van een gebouw of gebied ten aanzien van acute wateroverlast door piekbuien te verminderen, zijn er ook maatregelen te nemen welke meer gericht zijn op een snelle afhandeling van schade in het geval van wateroverlast. Dergelijke financiële adaptatie zorgt voor een versneld proces van schadeherstel. Een snel proces in de financiële kant van de schadeafhandeling leidt tot snel herstel van getroffen panden, wat de gevoeligheid van zowel het gebouw als het gebied weer ten goede komt.

Verzeker(ing)en tegen acute wateroverlast door piekbuien

In veel gevallen wordt schade door acute wateroverlast door de verzekeraar vergoed. Schade wordt veelal gedekt in de inboedel- en opstalverzekering (STOWA, 2021b). Het gaat hierbij om schade welke ontstaan is door neerslag welke de woning binnenkomt via daken en dakgoten, het naar binnen stromen over drempels, of door het instorten van een plat dak (Verbond van Verzekeraars, 2025a). Om in aanmerking te komen voor vergoeding stelt een verzekeraar wel gebieds- en neerslagcriteria. Zo worden er gebiedsgrenzen aangeduid waarbinnen de verzekerde aanspraak kan doen op vergoeding. Ook voor neerslag wordt er door de verzekeraar een drempelwaarde opgesteld. Dit betreft een gedefinieerde hoeveelheid neerslag per een gedefinieerd aantal uur (STOWA, 2021b).

Toch wordt ook benadrukt dat er een balans bestaat tussen het eigen risico waarvoor de eigenaar van een gebouw zelf de verantwoordelijkheid draagt (individuele zorg) en zorg voor schade welke de eigenaar niet meer zelf kan dragen (collectieve zorg). Collectieve zorg omvat naast verzekeringen ook het meer preventief inrichten van de openbare ruimte, en wordt dus gedragen door zowel de verzekeraar als de overheid (STOWA, 2021b).

Deze balans tussen collectieve en individuele zorg is nog relatief onbekend onder verscheidene partijen. Deze partijen gaan er veelal vanuit dat de zorg voor en de afhandeling van schade door acute wateroverlast wel goed geregeld is, en zijn zich derhalve weinig bewust

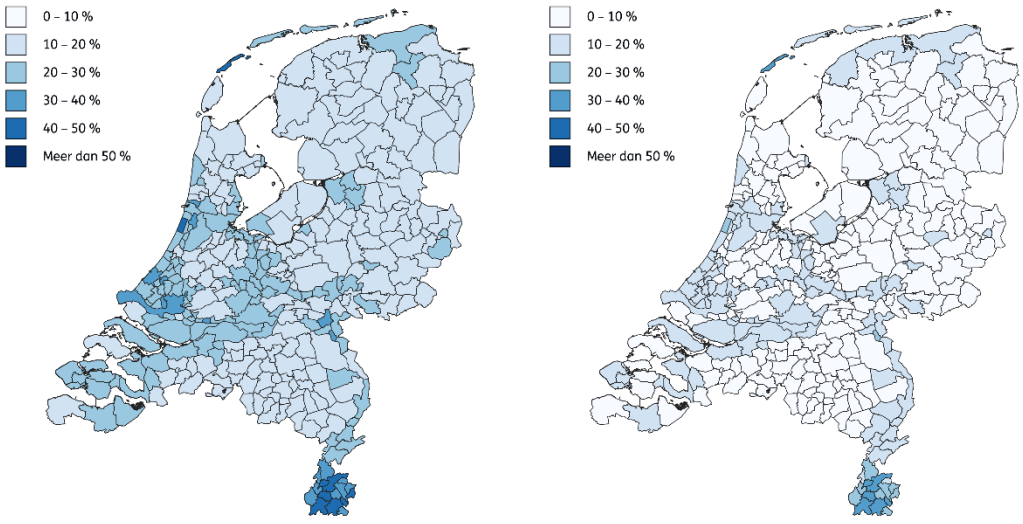
van het eigen risico op schade dat ze dragen (Radar, 2024). Kortom, er dient nog meer bewustwording op dit vlak gecreëerd te worden.

5.4.3 Impact na implementatie adaptatiemaatregelen

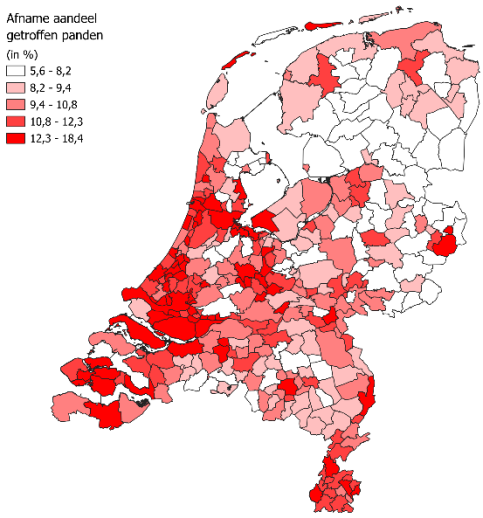
Er is een veelvoud aan adaptatiemaatregelen te nemen om schade als gevolg van acute wateroverlast door piekbuien te beperken. In het geval van veel adaptatiemaatregelen is hun effect niet door te rekenen op nationaal niveau. Hiervoor zal een lokaal casus-specifiek onderzoek gedaan moeten worden. Toch blijft hiervoor gelden dat het effect van de maatregelen lastig met honderd procent zekerheid te definiëren is.

Eén van de maatregelen waar wel een eerste orde inschatting gedaan kan worden over haar effect is het verhogen van de drempelwaarde. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de hoogte van de drempel te verhogen, of het straatniveau te verlagen (een maatregel welke mogelijk vanuit het oogpunt van bodemdaling niet wenselijk is om te nemen). In essentie komt het er op neer dat de verhouding tussen maaiveld en drempel vergroot wordt, zodat water pas na een hogere waterstand de woning zal binnenstromen.

Voor deze analyse hebben we de drempelwaarde verhoogd van 20 naar 30 cm. Figuur 5.16 laat het aandeel getroffen panden zien voor respectievelijk een drempelwaarde van 20 en 30 cm bij een bui van 70 mm per twee uur. Hierbij toont het aan dat het aandeel getroffen panden voor de meeste gemeenten is afgenomen tot minder dan twintig procent, wanneer de drempelwaarde verhoogd wordt tot 30 cm. Enkel in grote delen van Zuid-Limburg en een drietal gemeenten in de rest van Nederland (Mook en Middelaar, Vlieland en Zandvoort) is nog sprake van een aandeel getroffen panden hoger dan twintig procent. Figuur 5.17 laat vervolgens de afname in aandeel getroffen panden zien. Hierbij wordt duidelijk dat de sterkste afname plaatsvindt in de Randstad, andere stedelijke gemeenten én Zuid-Limburg. Het gaat hierbij veelal om gemeenten in welke het aandeel getroffen panden hoog ligt.



Figuur 5.16. Aandeel getroffen panden bij een bui van 70 mm per twee uur en een drempelwaarde van 20 cm (links) en 30 cm (rechts) (o.b.v. CAS, 2025).



Figuur 5.17. Afname in aandeel getroffen panden, als gevolg van het verhogen van de drempelwaarde van 20 naar 30 cm (o.b.v. CAS, 2025).

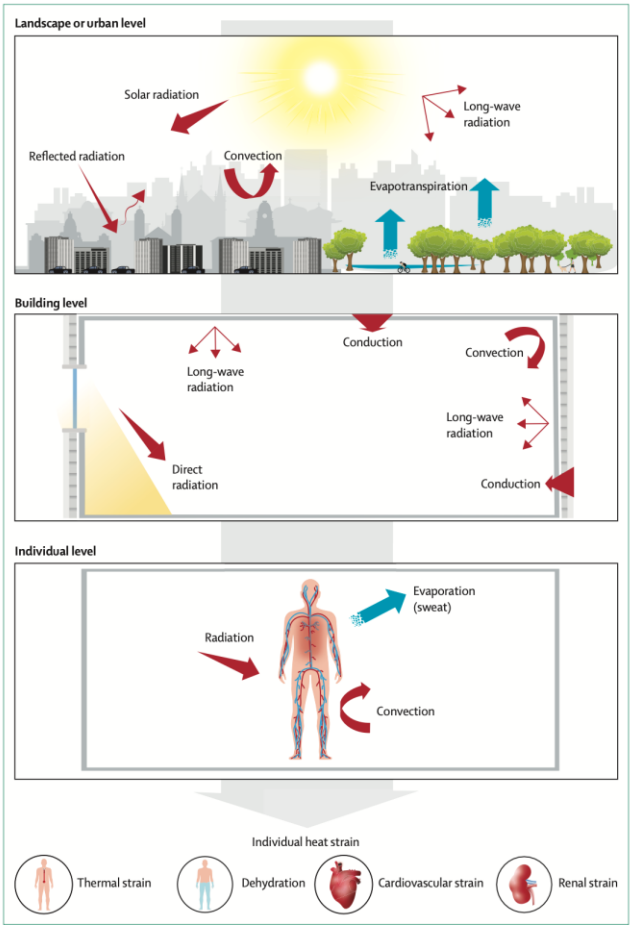
6 Hittestress: impact op de binnenruimte

6.1 Inleidend

Hittestress is het geheel aan fysieke en mentale belasting dat optreedt wanneer het menselijk lichaam een overmaat aan warmte moet afvoeren of hier onvoldoende toe in staat is. Hittestress kan leiden tot uiteenlopende gezondheidseffecten, variërend van verminderde concentratie en tot acute gezondheidsrisico's zoals een hitte-uitputting en hitteslag. Ook zorgt hitte indirect voor andere gezondheidsrisico's voor ouderen en mensen met een kwetsbare gezondheid doordat het zorgt voor grotere belasting op het hart, nieren en organen (Klenk et al., 2010). In landen met een gematigd klimaat, zoals Nederland, neemt het sterftecijfer sterk toe bij hogere temperaturen waarbij het vooral kwetsbare groepen zijn die verhoogd risico lopen (Betgen, 2024; Ebi et al., 2021). Ook lichtere vormen van hittestress en verminderd comfort zijn een probleem omdat zij leiden tot slaapverstoring (Belenky et al., 2003), verminderd welzijn en verminderde arbeidsproductiviteit (Foster et al., 2021; Lan et al., 2011). Daarnaast leiden thermisch comfort problemen ook tot de aanschaf van air conditioning systemen met een hoog energie verbruik. Zo wordt tussen nu en 2030 een verdrievoudiging verwacht in het aantal gebruikte airconditioners in Nederland (Rovers, 2024).

In dit hoofdstuk ligt de nadruk specifiek op hittestress in het binnenmilieu. Mensen in gematigde klimaten brengen het overgrote deel van hun tijd binnen door (i.e.: 87%), in woningen, kantoren, zorginstellingen en scholen (Klepeis et al., 2001). De thermische omstandigheden binnen deze gebouwen spelen daarom een cruciale rol in de mate van blootstelling aan hitte (Jay et al., 2021). In dit hoofdstuk wordt een inschatting gemaakt van de impact die klimaatverandering kan hebben op de mate van hitte in woningen. In dit hoofdstuk wordt niet ingegaan op de eindimpact van deze hitte in termen van negatieve gezondheidseffecten. Die eind impact wordt behandeld in het gerelateerde onderzoeksrapport van het RIVM.

Hittestress in het binnenmilieu is het resultaat van processen op verschillende, onderling samenhangende schaalniveaus (Figuur 6.1). Op regionaal niveau beïnvloeden het klimaat en de veranderingen daarin – zoals stijgende gemiddelde temperaturen en een toename van hittegolven – de randvoorwaarden voor thermisch comfort. Op lokaal en stedelijk niveau speelt het (micro)klimaat en de omvang van het stedelijk hitte eiland effect (SHE, zie 6.4.2) een belangrijke rol, waarbij de inrichting van gebieden, de aanwezigheid van groen en water, verharding en bebouwingsdichtheid van invloed zijn op lokale opwarming. Deze stedelijke context werkt direct door op het gebouwniveau, waar eigenschappen zoals isolatie, zonwering, ventilatie, thermische massa en oriëntatie bepalen in hoeverre energie uit zonnestraling wordt vastgehouden of warmte van buiten wordt doorgelaten. Tot slot zijn er factoren op individueel niveau, waaronder de fysiologische kenmerken van bewoners (zoals leeftijd en gezondheidstoestand) en hun gedrag waaronder hun kleding en activiteit maar ook hun interactie met de gebouwen die zij bewonen zoals het gebruik van ramen, zonwering of actieve koeling.



Figuur 6.1 Warmteoverdrachtsroutes die van invloed zijn op hittestress binnen gebouwen. Afbeelding uit: (Jay et al., 2021)

In dit hoofdstuk wordt het risico op hittestress in de gebouwde omgeving, en de impact daarvan, beoordeeld aan de hand van een aantal aspecten. Dit wordt grotendeels gedaan aan de hand van een literatuurstudie, aangevuld met kwantitatieve analyse van gegevens uit openbare datasets.

In dit hoofdstuk wordt allereerst de klimaatdreiging geschetst, in termen van de verwachte temperatuurontwikkelingen in twee scenario's. Vervolgens wordt de bloostelling aan het risico op hittestress in Nederland geanalyseerd inclusief de regionale en lokale verschillen in deze blootstelling. Daarna worden de aspecten besproken die van invloed zijn op de gevoeligheid voor hittestress waaronder de eigenschappen die gebouwen gevoeliger maken voor hitte en de eigenschappen die bewoners gevoeliger maken. Vervolgens worden mogelijke adaptatiemaatregelen besproken, zowel op stedelijk als op gebouwniveau, die gericht zijn op het beperken van opwarming en het vergroten van thermisch comfort. Hierbij wordt ook het huidige Nederlandse adaptatie beleid gericht op hittestress in de gebouwde omgeving besproken.

Tot slot wordt in dit hoofdstuk de omvang van hittestress in de gebouwde omgeving, en de impact van klimaatverandering hierop, gekwantificeerd worden met een simulatiestudie waarin de hiervoor besproken aspecten worden meegenomen (i.e.: klimaat dreiging, bloostelling, gevoeligheid en adaptatiemaatregelen).

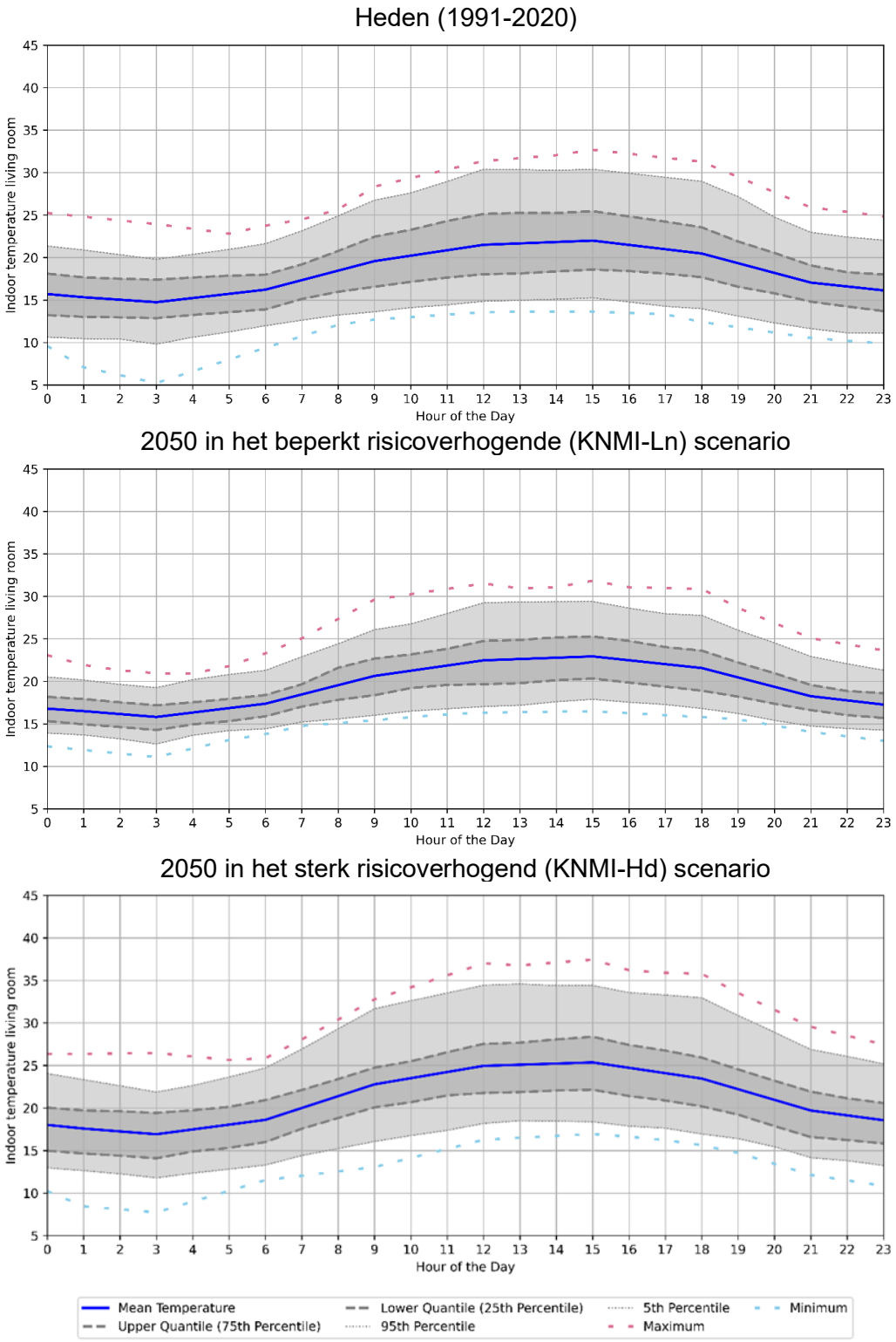
6.2 Klimaatdreiging: hittegolven nemen toe in frequentie en intensiteit

- De primaire dreiging achter hittestress binnen de gebouwde omgeving ligt in de toenemende frequentie en intensiteit van hittegolven. Zowel de extremen overdag als de nachtelijke temperatuur zijn van belang.
- Hittegolven zullen vaker voorkomen en duren langer. Het aantal tropische dagen (≥30°C) stijgt van 5 per jaar in het heden naar 9 (beperkt risicoverhogend scenario) tot 13 (sterk risicoverhogend scenario) in 2050.
- In het sterk risico verhogende scenario neemt ook de intensiteit van deze hittegolven toe met maximale temperaturen rond de 35° (t.o.v. 30 in het heden) en meer warme nachten.
- Gecombineerde blootstelling aan hoge temperaturen, luchtverontreiniging en pollen kan het negatieve effect op gezondheid vergroten.
- In het heden worden gecombineerde grenswaarden voor deze factoren alleen in Zuid-Europa overschreden maar door klimaatverandering en secundaire effecten (e.g.: uitstoot van fijnstof uit bosbranden, verhoogde concentraties pollen) kan dit de komende jaren ook relevant worden voor Nederland.

De primaire dreiging achter hittestress komt voort uit de toenemende frequentie van hittegolven. In deze paragraaf kijken we naar hoe deze dreiging toeneemt richting 2050 in de twee scenario's: het beperkt risico verhogend scenario en het sterk risico verhogend scenario. Deze scenario's worden respectievelijk gerelateerd aan de KNMI-scenario's lage mondiale uitstoot nat (Ln) en hoge mondiale uitstoot droog (Hd). Vooral de meest warme dagen zijn relevant voor de risico's gerelateerd aan hittestress. Ook nachtelijke temperaturen zijn van belang omdat deze bepalend zijn voor de mate waarin een gebouw kan afkoelen en voor de slaapkwaliteit en het nachtelijk herstel van bewoners.
In het beperkte risico verhogende scenario (Ln) zal het aantal tropische dagen (≥30°C) toenemen van gemiddeld 5 dagen per jaar in het heden naar 9 dagen in 2050 (KNMI 2023 – Gebruikersrapport, Bessembinder et al., 2023). Over de zomerperiode zal het gemiddelde dagmaximum toenemen van 21.7°C naar 22.9 °C in 2050 (KNMI-2023). Figuur 6.2 geeft een beeld van de sterkte en de frequentie van deze warme zomerse dagen in het beperkt risicoverhogende scenario. De grafiek toont de temperatuurverdeling in het heden en in 2050 in het Ln scenario (Lage globale opwarming en een vernattend klimaat)[1]. De grafiek is gebaseerd op de uurlijkse temperatuurscenario's van het KNMI. Deze gegevens zijn representatief voor De Bilt in een warm jaar dat eens in de twintig jaar zal voorkomen. De grafiek toont de gemiddelde (blauwe lijn) en kwantielwaarden (grijze regio's) van de temperatuur voor ieder uur in de maanden juni-augustus. Te zien is dat warmste dagen in dit scenario vergelijkbaar zijn met wat wij in het huidige klimaat meemaken (maximum temperaturen van 30-32°C). Het gemiddelde temperatuur verloop (blauwe lijn) licht echter hoger in het beperkt risico verhogende scenario wat er op wijst dat er meer matig warme dagen zullen zijn. De grafiek laat ook zien dat er vaker spraken zal zijn van hogere nachttemperaturen. In het warme jaar in het huidige klimaat komen tropische nachten (minimale nachttemperatuur boven 20°C) bijna niet voor. Ook is voor ongeveer de helft van de dagen in de zomermaanden de minimale nachttemperatuur onder de 15°C. In het beperkt risico verhogende scenario is het aantal tropische nachten van een vergelijkbare orde. Het aantal nachten met een minimumtemperatuur van onder de 15°C neemt echter flink af (nog maar zo'n 25%).

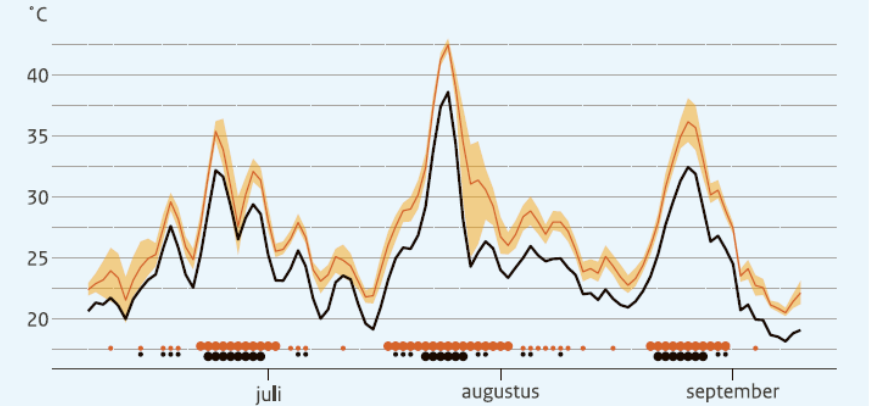
[1] Voor deze analyse zijn uurlijkse voorspellingen van het KNMI gebruikt. Die dataset bevat voor het Ln scenario alleen resultaten voor het jaar 2100 die volgens het KNMI ook representatief zijn voor 2050.

In het sterk risico verhogende scenario (Hd) zorgt, naast de toenemende frequentie van hittegolven, ook de sterkte van deze hittegolven voor grotere risico's. In het Hd scenario zal het aantal tropische dagen (≥30°C) toenemen van gemiddeld 5 dagen per jaar in het heden naar gemiddeld 13 dagen per jaar in 2050 (Bessembinder et al., 2023). Over de zomerperiode zal het gemiddelde dagmaximum toenemen van 21.7°C naar 23.9°C in 2050 (Bessembinder et al., 2023).
Figuur 2 geeft een beeld van het temperatuurverloop tijdens de zomer van een warm jaar (komt eens in de 20 jaar voor). De grafiek toont de temperatuurverdeling in het heden en in 2050. Te zien is dat in het heden op de helft van de dagen (blauwe lijn) tijdens deze warme zomer de temperatuur op het heetst van de dag tot boven de ~21°C komt en de temperatuur rond middernacht niet boven de 16°C uitkomt. Tropische dagen (maximumtemperatuur boven de 30°C) en tropische nachten (minimumtemperatuur boven de 20°C) komen niet vaak voor (liggen op de 95e percentiel grens waarboven slechts 2-3% van de dagen zich bevinden). In het Hd scenario zal in dit warme jaar in 2050 de maximumtemperatuur op de helft van de dagen in juni-augustus boven de 25°C uitkomen en zal het rond middernacht warmer dan 18°C zijn. Tropische dagen en nachten komen vaker voor (20-25% van de dagen in deze zomer). Ook is het op de warmste dagen veel warmer dan in het heden. De maximumtemperatuur op de meest extreme dagen (95e percentiel grens met 2-3% van de dagen) neemt toe naar bijna 35°C en een temperatuur van 25°C rond middernacht.



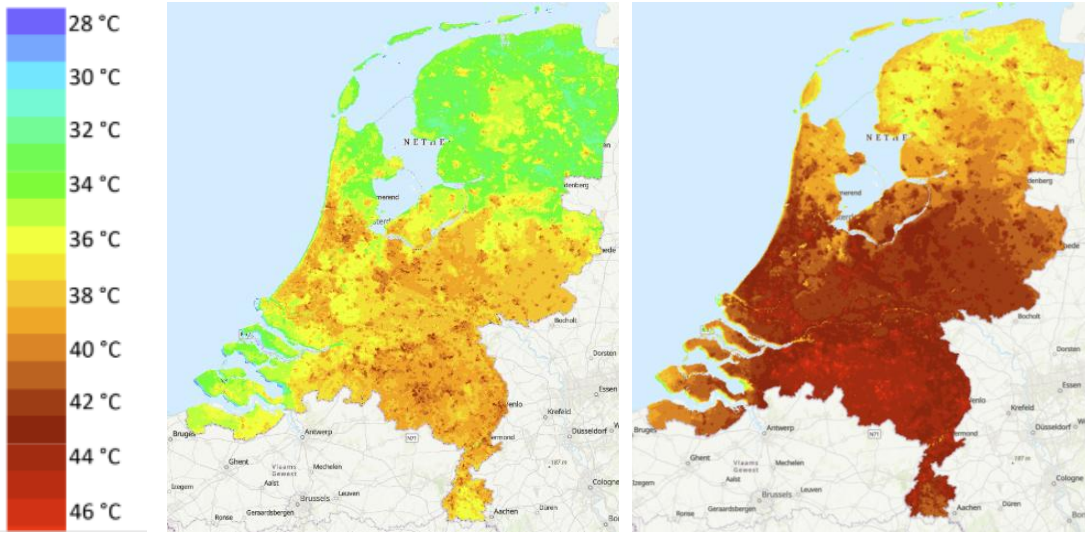
Figuur 6.2 Temperatuurverdeling over de periode juni-augustus in een warm jaar in het heden (boven), in 2050 beperkt risicoverhogend (KNMI-Ln) scenario (midden) en in 2050 sterk risicoverhogend (KNMI-Hd) scenario (onder). De grafiek toont de gemiddelde en kwantielwaarden van de temperatuur voor ieder uur van de dag voor De Bilt. Verdelingen zijn gebaseerd op voorspelde uur-gegevens van het KNMI met dataverwerking door TNO.

In het sterk risico verhogende scenario nemen zowel de duur van hittegolven toe als de omvang van het gebied waar riskante temperaturen optreden. Figuur 6.3 toont een vergelijking tussen gemeten temperaturen uit de warme zomer van 2019 en simulatieresultaten van dezelfde zomer onder een verandert klimaat. Te zien is dat het aantal dagen binnen een aaneengesloten hittegolf bijna verdubbelt.



Figuur 6.3 Duur van een hittegolf in het huidige klimaat (zwarte grote stippen) en onder een sterk risicoverhogend scenario (oranje grote stippen). Gebaseerd op meetgegevens van het KNMI uit 2019 en een simulatie door het KNMI van hetzelfde jaar bij een verandert klimaat. Afbeelding uit het KNMI 2023 gebruikersrapport (Bessembinder et al., 2023). Gegevens zijn representatief voor een warm jaar dat eens in de 30 jaar kan voorkomen.

Figuur 6.4 laat voor heel Nederland de maximumtemperaturen zien tijdens de 2e hittegolf van 2019. Te zien is dat er grote regionale-, en lokale verschillen bestaan in maximumtemperatuur tijdens de hittegolf. Tijdens de hittegolf van 2019 werd het lokaal in de grote steden en regionaal in het zuidoosten van het land het warmst met temperaturen boven de 40°C. In het sterk risicoverhogende scenario kunnen zulke hoge maximumtemperaturen in bijna het hele land voorkomen tijdens een hittegolf als in 2019.



Figuur 6.4 Gemiddelde maximumtemperatuur tijdens de hittegolf van 24-26 juli 2019. **Links:** metingen met interpolatie uit simulaties tijdens de hittegolf van 2019. **Rechts:** resultaten van temperatuursimulaties van dezelfde hittegolf bij 2°C gemiddelde klimaatverandering als in het sterk risicoverhogende scenario.

Naast de hierboven primaire effecten van een toename van hitte, zijn er ook nog secundaire effecten. Gecombineerde blootstelling aan hoge temperaturen, luchtverontreiniging en pollen kan het negatieve effect op gezondheid vergroten, met name wanneer er sprake is van een gecombineerde overschrijding van grenswaarden. Recent is deze overschrijding voor geheel Europa voor 2022 in kaart gebracht (Scholten 2024). Met name in Zuid-Europa traden deze gecombineerde overschrijdingen op tot wel 25% van de tijd gedurende de zomer. In Nederland trad dit minder dan 1% van de tijd op. Maar door klimaatverandering kan Nederland de komende jaren meer naar de zuidelijke condities opschuiven.
In een warmer en met name droger klimaat wordt het risico op bosbranden sterk vergroot. Bosbranden kunnen lokaal leiden tot hoge concentraties fijnstof, maar de concentraties kunnen ook over grotere afstanden waarneembaar zijn.

6.3 Adaptatiemaatregelen

- Het huidige rijksbeleid voor klimaat adaptatie is vooral richtinggevend:
  - Lokale overheden zijn verantwoordelijk voor de klimaat adaptatie maatregelen gericht op het verkoelen van de buitenruimte.
  - Lokale overheden worden verplicht om stresstesten uit te voeren en een klimaatadaptatiestrategie op te stellen maar de uitvoering daarvan is niet juridisch bindend.
  - Voor kritieke entiteiten zijn risicobeoordeling wel bindend maar hittestress in gebouwde omgeving is hierbinnen nog geen bepalend onderwerp.

  Voor gebouw gebonden adaptatie maatregelen bestaat er wel sturend rijksbeleid. Deze is vooral gericht op nieuwbouwwoningen (verplichte toetsing aan de TO-juli norm binnen de Omgevingswet). Het rijk is niet voornemens om wettelijke minimumeisen te stellen voor bestaande woningen.
- Met adaptatiemaatregelen in de buitenruimte kunnen op kleine schaal, lokaal koele plekken gecreëerd worden die helpen om lokaal het risico op hittestress in de buitenruimte te verkleinen. Deze maatregelen kunnen ook een substantieel verschil maken in het terugdringen van hittestress binnen gebouwen in binnen het gehele stedelijke gebied. Hiervoor is het nodig dat deze maatregelen op grote schaal worden toegepast.
- De meest effectieve maatregelen voor het voorkomen van hitte in de buitenruimte zijn het vergroten van het groene stedelijk oppervlak en begroeiing, het creëren van schaduwplekken (bomen, stadspergola's, etc.) en het vergroten van het stedelijk albedo (i.e.: witte daken).
- De meest effectieve maatregelen voor het voorkomen van hitte binnen gebouwen zijn zonwerende maatregelen (e.g.: buitenzonwering, zonwerend glas, etc.), het vergroten van de mogelijkheden om het gebouw natuurlijk te ventileren (e.g.: zomernachtventilatieluiken inbraakwering, horren, etc.) en actieve koeling (airconditioning met een hoog elektraverbruik of energiezuinige niet-condenserende alternatieven).

6.3.1 Adaptatie in het huidige beleid

In het huidige beleid ligt de verantwoordelijkheid voor adaptatiemaatregelen tegen hittestress gerelateerd aan de buitenruimte (nature-based solutions zoals vergroening) grotendeels bij regionale en lokale overheden. Het huidige beleid van het Rijk is vooral richtinggevend en niet verplichtend naar lokale overheden. Zo heeft het Rijk een handreiking voor groen in en om de stad (GIOS) ontwikkeld die gericht is op gemeenten en die vrijwillig toepasbaar is[2]. Ook is er een maatlat groene klimaat adaptieve gebouwde omgeving opgesteld die lokale overheden en woningcorporaties handvatten geeft[3]. Het Rijk stimuleert vergroening verder via campagnes zoals 'NL Vergroent' en het NK Tegelwippen, en faciliteert gemeenten met tools zoals de Menukaart Hitte en hitteadviseurs via RVO. Ook zijn de mogelijkheden verkend van het sturen op vergroening met de Omgevingswet maar is er geen ambitie uitgesproken voor het invoeren van een juridische verplichting. Toekomstig beleid gericht op vergroening zal dan ook sterk afhankelijk zijn de ambities en uitdagingen van lokale overheden.

[2] Kamerbrief over voortgang Groen in en om de Stad (GIOS): https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2024/05/31/voortgangsbrief-groen-in-en-om-de-stad-gios

[3] Maatlat groene klimaatklimaat adaptieve gebouwde omgeving: https://klimaatadaptatienederland.nl/hulpmiddelen/overzicht/maatlat-groene-klimaatadaptieve-gebouwde-omgeving/

Het huidige beleid bevat wel regelgeving op rijksniveau gericht op gebouw gerelateerde maatregelen. In de Omgevingswet is een verplichte toetsing aan de TO-juli norm opgenomen die ontwikkelaars van nieuwe woningen verplicht om bouwkundige en installatietechnische maatregelen te nemen als er sprake is van een risico op oververhitting in hun geplande nieuwbouwwoningen.

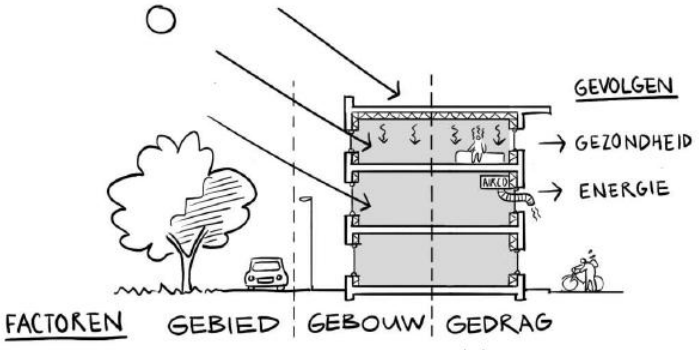
Voor bestaande woningen werkt het Rijk aan een landelijke meetmethode voor hittestress, maar het Rijk is momenteel niet voornemens om wettelijke minimumeisen te stellen. In het huidige beleid wordt het nemen van maatregelen voor eigenaars en bewoners gezien als de eigen verantwoordelijkheid. Voor huurders wordt in het huidige beleid verwezen naar bestaande juridische mogelijkheden en de huurcommissie. Momenteel wordt oververhitting echter nog niet door de huurcommissie als gebrek erkend. Wel stimuleert het Rijk woningcorporaties om maatregelen te nemen in de subsidiering van onderzoeks- en samenwerkingsverbanden die het handelingsperspectief van corporaties moeten verbeteren, zoals de Hittehandreiking 3.0 en het Groene Huisvesters netwerk. Ook verkent het Rijk momenteel of bestaande subsidieregelingen (e.g.: ISDE) kunnen worden uitgebreid met maatregelen als buitenzonwering.

Ook op het vlak van organisatorisch en gedragsmatige adaptatie is het huidige beleid van het Rijk vooral richtinggevend. Lokale overheden worden via het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie verplicht om stresstesten uit te voeren, waaronder voor hitte. Ook moeten lokale overheden een klimaatadaptatiestrategie opstellen maar de uitvoering daarvan is niet juridisch bindend. Voor wat betreft gezondheid en gedrag is het Nationaal Hitteplan van het RIVM het belangrijkste instrument. Dit plan wordt bijgesteld op basis van evaluaties en zal worden uitgebreid met de ‘Hittekracht’-index. Gemeenten worden via het Gezond en Actief Leven Akkoord (GALA) en de vernieuwde Handreiking Lokale Hitteplannen gestimuleerd om lokaal beleid te ontwikkelen en kwetsbare groepen te beschermen.

Gezien het huidige beleid zal de beoordeling van de gevoeligheid van de gebouwde omgeving en de impact van de verschillende scenario’s vooral gericht worden op de bestaande bouw. Daarbij zullen we de verschillende adaptatiestrategieën afzetten tegen een situatie waarbij er slechts sprake is van autonome groei in adaptatiemaatregelen die niet door het Rijk verplicht zijn (i.e.: waarbij maatregelen genomen door eigenaren en verhuurders in dezelfde mate als dat nu het geval is).

6.3.2 Mogelijke adaptatiemaatregelen voor hittestress

Adaptatiemaatregelen tegen hittestress in gebouwen zijn mogelijk op drie schaalniveaus (Figuur 6.5). Dit betreft het gebied, het gebouw en de gebruiker (F. de Vries et al., 2024). Er is in dit geval gekozen om de gebiedsgerelateerde maatregelen binnen het ‘transformeren’ scenario te groeperen en de gebouw gerelateerde maatregelen binnen het ‘intensiveren’ scenario te groeperen. Maatregelen die gerelateerd zijn aan de gebruiker vallen onder de gedragsmatige aanpassingen die onderdeel zijn van beide scenario’s.



Figuur 6.5 Schaalniveaus waarop maatregelen tegen hittestress genomen kunnen worden (F. de Vries et al., 2024).

6.3.2.1 Adaptatiemaatregelen: gebied

Tabel 6.1 toont een overzicht van mogelijke adaptatiemaatregelen op de gebiedsschaal met een inschatting van hun algemene effectiviteit (los van het contextscenario) op basis van literatuur. De effectiviteit van deze maatregelen is sterk afhankelijk van de schaal waarop ze worden toegepast. Het vergroenen van de ruimte rondom een enkel gebouw heeft bijvoorbeeld slechts een klein effect op de binnenluchttemperatuur in dat gebouw. Als hele straten en wijken echter groener worden ingericht dan kan dit de stedelijke buitenluchttemperatuur substantieel verlagen en vervolgens ook voor een koeler binnen klimaat zorgen. Meer planten in de stad op grote schaal zorgt er namelijk voor dat meer opname warmte wordt opgenomen door evapotranspiratie wat het stedelijke hitte eiland (SHE, zie 6.4.2) verlaagt. Sommige maatregelen zijn daarentegen ook op kleinere schaal effectief. Beschaduwing van ramen door bomen bijvoorbeeld bij een enkele woning helpen oververhitting binnen te voorkomen. Grootschalige toepassing van bomen kan echter ook helpen de stad als geheel te verkoelen. In de tabel is daarom aangegeven op welke schaal de maatregel effectief is in het tegengaan van hittestress.

Tabel 6.1 Adaptatiemaatregelen voor het tegengaan van hittestress op de gebiedsschaal in het 'transformeren' adaptatiescenario

Maatregel	Schaalniveau waarop maatregel effectief is			Effecten in literatuur	Bron
	Stad	Lokaal	Gebouw		
Bouwen in lagere dichtheden	++	+		Landelijk: 0.0 °C SHE Stedelijk: 1.3 °C SHE Grootstedelijk: 1.7 °C SHE Zeer grootstedelijk: 3.2°C SHE	(1)
Vergroten groen stedelijk oppervlak (e.g.: parken, groene gevel etc.)	++	+	~	0.4-0.6°C lagere buitenlucht temperatuur per 10% groen het totale stedelijke oppervlak	(2)
Vergroten stedelijk albedo (e.g.: witte of lichte daken, lichtere bestrating, zie Tabel 6.2)	++	+	(+)	2-6°C lagere oppervlaktetemperatuur	(3)
Beschaduwing door bomen	++	+	++	0.2-2.7°C lagere buitenluchttemperatuur 2°C lagere binnenluchttemperatuur	(4)
Beschaduwend stedelijk meubilair (doeken, pergola's, etc.)		+	++	0.3-2.0°C lagere buitenluchttemperatuur	(5)
Grote stedelijke waterelementen (e.g.: vijvers)		+		0.5-0.7°C lagere buitenluchttemperatuur	(6)
Kleine stedelijke waterelementen (e.g.: fonteinen)		++		1.0-5.0°C lagere buitenluchttemperatuur	(6)
1: (Oleson et al., 2015), 2: (le Grand et al., 2014; Van Hove et al., 2014), 3: (Wang et al., 2022), 4: (F. de Vries et al., 2020; Kluck et al., 2023; Vries; et al., 2021), 5: (Spanjar et al., 2020; Kluck et al., 2020; van der Strate et al., 2022), 6: (Kluck et al., 2020; Spanjar et al., 2020; Vries; et al., 2021)					

Tabel 6.2: Albedo waarden van materialen die toegepast worden voor daken en bestrating. Hoe hoger de Albedo waarde hoe meer zonnestraling er wordt gereflecteerd.

Materiaal	Albedo waarde[1]
Zwarte bitumen dakbedekking	0,04 – 0,05
Bitumen dakbedekking wit grind	0,30 – 0,50
Asfalt	0,04 – 0,15
Licht grijs asfalt	0,25 – 0,27
metaal dak onbehandeld	0,30 – 0,50
Donkere betonnen dakpannen	0,05 – 0,35
Zand kleurige betonnen tegels	0,50 – 0,60
Witte betonnen dakpannen	0,60 – 0,70
Wit betonnen tegels	0,70 – 0,79

6.3.2.2 Adaptatiemaatregelen: gebouw

Tabel 6.3 toont een overzicht van mogelijke adaptatiemaatregelen die bij individuele gebouwen genomen kunnen worden met een eerste inschatting van hun algemene effectiviteit op basis van literatuur. Deze effectiviteit wordt hier bekeken op de schaal van een individueel gebouw. Te zien is dat groene gevels en daken bijvoorbeeld een klein effect hebben wanneer ze op slechts één gebouw worden toegepast.

Tabel 6.3 Adaptatiemaatregelen voor het tegengaan van hittestress op de gebouwschaal in het 'intensiveren' adaptatiescenario.

Maatregel	Effectiviteit bij individuele gebouwen	Opmerking	Bron
Statische buitenzonwering	+++	Vergunning, gevelbeeld, uitzicht, beperkte ruimte	(1)
Bewegende buitenzonwering	++++		(2)
hoog reflecterende binnenzonwering	+++	Risico op verkeerde bediening	(3)
Lichtwering en anders (e.g. gordijnen)	+	Risico op verkeerde bediening	(4)
Zonwerend glas	+++	Kleine reductie lichttoetreding en kleurweergave, soms hogere warmtevraag[4]	(5)
Zonwerende folie	+++	Reductie lichttoetreding en kleurweergave	
Groene gevels	+	Niet effectief bij goed geïsoleerde gevels	(6)
Groen dak	+(++)	Effectief bij slecht geïsoleerde daken, effect beperkt tot ruimten onder dak	(7)
Dak witten	+(++)	Effectief bij slecht geïsoleerde daken, effect beperkt tot ruimten onder dak	(8)
Zomernacht-ventilatieluiken	+++(+)	luchtkwaliteit, minder uitzicht	(9)
Verbeteren van hang en sluitwerk/ Hulpmiddelen raambediening	+(+)	Geluid, luchtkwaliteit, verkeerde bediening	
Vrije koeling met WKO of oppervlaktewater	+++	Beperkt koelvermogen, moeilijk in te passen in oude bestaande woningen	(10)
Koeling met lucht-water warmtepomp	++(+)	Beperkt koelvermogen, moeilijk in te passen in oude bestaande woningen, risico op geluidsoverlast	(10)
Koeling met airconditioner of lucht/lucht warmtepomp	+++++	Hoog energieverbruik, inpassing in het straatbeeld, draagt bij aan het vergroten van het SHE, risico op geluidsoverlast	(10)

1: (Hoevers H.; 2021; Vries; et al., 2021), 2: (Bakker et al., 2011; Hoes et al., 2011; Hoevers H.;, 2021; Kluck et al., 2023; Vries; et al., 2021), 3: (S. B. de Vries, 2022; S. B. De Vries et al., 2021; Kluck et al., 2023), 4: (F. de Vries et al., 2024), 5: (F. de Vries et al., 2024; Hoevers H.; 2021; Kluck et al., 2023), 6: (Ottelé & Perini, 2017; Teun et al., 2019), 7: (van Hooff et al., 2014), 8: (Butt et al., 2021), 9: (Hoevers H.;, 2021; Kluck et al., 2023; van Hooff et al., 2014) , 10 (de Vries et al., 2024; Rovers, 2024)

[4] Zonwerend glas reduceert de transmissie van zonnestraling het gebouw in. Dat doet het in de zomer maar ook in de winter. In de winter draagt die zonnestraling bij aan het passief opwarmen van de woning. De reductie van zonnestraling leidt dan tot een hogere warmtevraag. De coating die gebruikt wordt bij zonwerend glas heeft echter veelal ook een lagere emissiviteit dan normaal HR++ waardoor je iets minder warmteverlies hebt. Het netto-effect is veelal dat zonwerend glas leidt tot een wat hogere warmtevraag (en gasverbruik).

6.3.2.3 Aanvullende beleidsinstrumenten: intensiveren

In het intensiveren beleidsscenario wordt er substantieel meer ingezet op technische gebouw gebonden maatregelen die oververhitting helpen voorkomen of verhelpen. Hiervoor is het nodig dat er aanvullend beleid komt gericht op de bestaande woningbouw. De grootste uitdaging ligt bij oververhitting bij bestaande woningen in de huursector (zie hoofdstuk 7.1.3). Maatregelen in die sector kunnen gestimuleerd worden middels verplichtende wetgeving en normering. Zo zou er bijvoorbeeld een aanvullende TOJuli eis voor bestaande woningen aan het energielabel gekoppeld kunnen worden.
Woningbouwcorporaties zou dan verplicht kunnen worden om te voldoen aan een maximale mate van oververhitting in hun woningenbestand. Het een dergelijke oververhittingseis zou ook meegenomen kunnen worden in de minimale energielabel eis die in 2029 ingaat voor eigenaren van huurwoningen voor alle verhuurders.
Technische maatregelen zouden verder gestimuleerd kunnen worden middels financiële prikkels. Zo zou de ISDE-subsidie, een rijkssubsidie instrument voor woningeigenaren gericht op verduurzaming, uitgebreid kunnen worden tot klimaatadaptatiemaatregelen. Ook leningsinstrumenten zoals het warmtefonds of het Waarborgfonds Sociale Woningbouw zouden verruimd ingezet kunnen worden om klimaatadaptatiemaatregelen te financieren. Financiele prikkels zouden ook indirect klimaatadaptatiemaatregelen kunnen stimuleren. Door de financiële druk op woningbouwcorporaties te verlichten (e.g.: vennootschapsbelasting, etc.) kan er bij hun meer budget vrij komen voor klimaatadaptatie.
Technische klimaatadaptatie maatregelen kunnen verder gestimuleerd worden door een grotere rijksbijdrage aan gemeenten. Hiermee kunnen gemeentelijke subsidies aan woningeigenaren worden uitgebreid (enkele gemeenten bieden nu al subsidies aan voor zonwering, etc.). Dit vereist wel gelijktijdige sturing door het rijk.

6.3.2.4 Aanvullende beleidsinstrumenten: transformeren

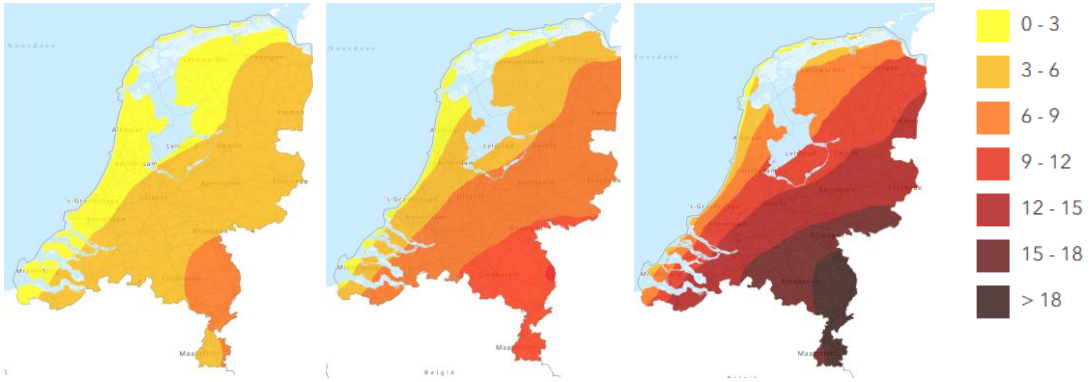
In het intensiveren beleidsscenario wordt er substantieel meer ingezet op het vergroenen van de gebouwde omgeving om het stedelijk hitte eiland terug te dringen. Om deze maatregelen te stimuleren kan het rijk een meer sturende rol op zich kunnen nemen. Dit kan bijvoorbeeld door de gemeentelijke uitvoering van de klimaatadaptatiestrategie juridisch bindend te maken.
In het transformeren scenario kunnen ook financiële prikkels worden ingezet. Dit kan door het uitbreiden van bestaande provinciale subsidieintrumenten of het via de rijksbijdrage aan gemeenten. Mogelijk zouden ook rijkssubsidie instrumenten ingezet kunnen worden voor vergroenende maatregelen op het perceel van gebouweigenaren (e.g.:groene daken, groene open bestrating etc.).

6.4 Blootstelling

- De mate van opwarming door klimaatverandering in Nederland is het kleinst in het noordwesten en neemt toe naar het zuidoosten. De regio's in het zuiden en oosten van het land zullen het sterkst worden blootgesteld aan hittestress.
- In het sterk risico verhogende scenario bevinden 49% van alle Nederlandse woningen zich in regio's met 9–15 tropische dagen per jaar en 23% van alle woningen in regio's met meer dan 15 tropische dagen.
- De blootstelling aan hittestress wordt ook beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect (SHE). Zo'n 50% van alle woningen in Nederland bevindt zich momenteel in gebieden waar het door het SHE gemiddeld 1-3°C graden warmer is dan in het buitengebied. In deze stedelijke gebieden kan de buitentemperatuur in de nacht zo'n 3-5°C warmer zijn.
- Als in het adaptatiescenario 'transformeren' het SHE met 0.5–1°C verminderd in de helft van onze stedelijke gebieden verlaagt dit het aandeel woningen dat wordt blootgesteld aan een SHE van ≥1°C van 50% tot 35%.

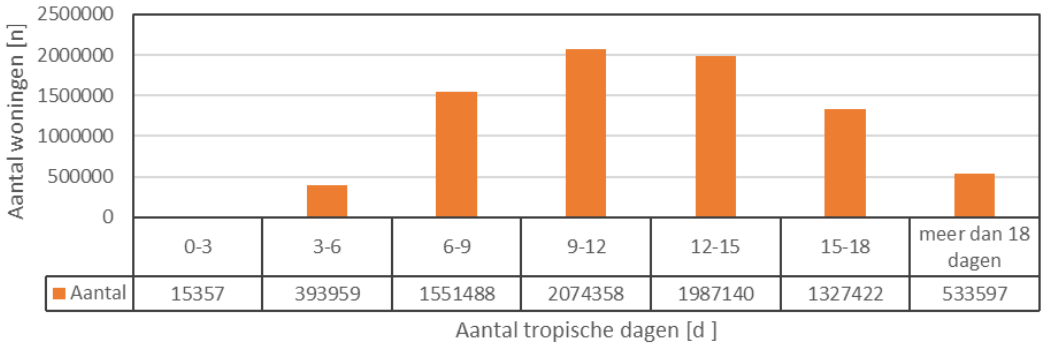
6.4.1 Regionale verschillen in blootstelling

Figuur 6.6 geeft een beeld van de regionale verschillen in de blootstelling aan hittestress in Nederland. De grafieken tonen het gemiddelde aantal tropische dagen per jaar in het heden en in de twee toekomstscenario's. Te zien is dat regionale verschillen groter worden in de toekomst. Vooral in het sterkrisico verhogende scenario is er een groot verschil te zien in het aantal tropische dagen in de kustregio's (e.g. Alkmaar), het midden van het land (e.g. Utrecht) en het (zuid)oosten van het land (e.g.: Roermond).



Figuur 6.6 Regionale verschillen in de blootstelling aan hittestress. Kaarten tonen het aantal tropische dagen per jaar

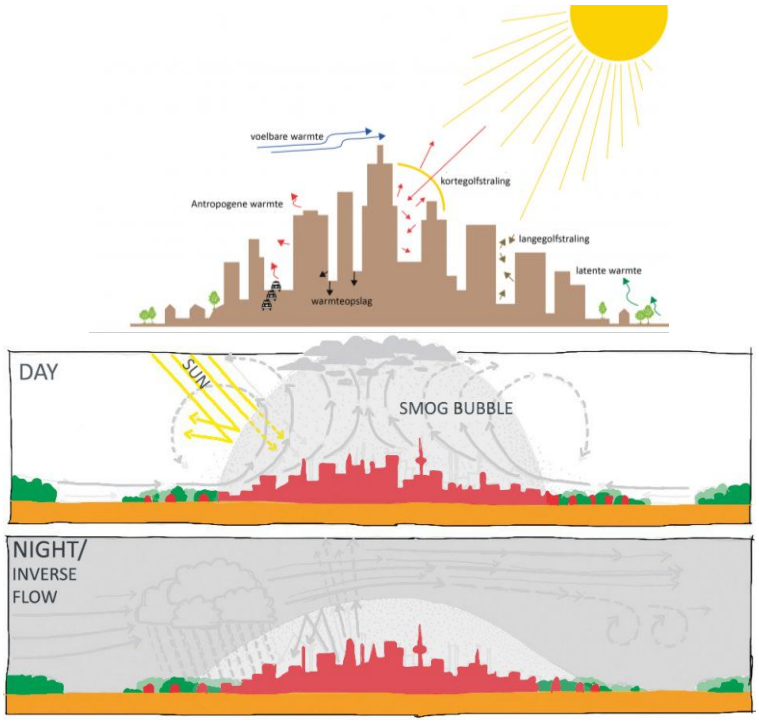
De grafieken laten ook zien dat een groter deel van het land zal worden blootgesteld aan een aantal tropische dagen (lees hittegolven) die nu nog niet voorkomen in Nederland. In het beperkt risico verhogende scenario zijn het vooral de provincies Brabant en Limburg die worden blootgesteld aan meer dan 9 tropische dagen per jaar. In het sterk risico verhogende scenario geldt dit voor het grootste deel van het land inclusief de meeste grote steden. Figuur 6.7 toont het aantal woningen dat zich in de verschillende blootstellingsregio's bevindt uit Figuur 6.6 in 2050 in het sterk risico verhogende scenario. Te zien is dat het merendeel van alle woningen zullen worden blootgesteld aan meer dan 9 tropische dagen per jaar.



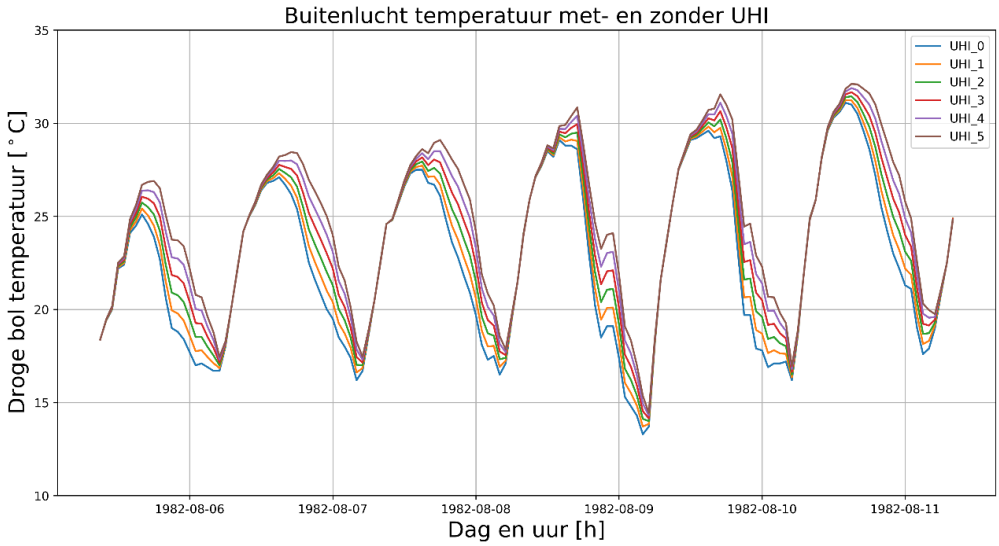
Figuur 6.7 Aantallen woningen in ieder van de regio's in het sterk risico verhogende scenario in **Figuur 6.6**. Analyse door TNO op basis van beschikbare GIS-gegevens.

6.4.2 Lokale verschillen in blootstelling: het stedelijk hitte eiland effect

De blootstelling aan hittestress wordt ook beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect (Figuur 6.8). In stedelijke gebieden ligt de temperatuur aanzienlijk hoger dan in het omliggende landelijke gebied. Het verschil tussen stad en ommeland wordt veroorzaak doordat steden meer zonnestraling absorberen en vasthouden (e.g.: gebouwen, asfalt, etc.). Deze materialen geven deze warmte s 'nachts weer af. Ook is er in steden minder groen oppervlak en wordt er minder warmte door evapotranspiratie opgenomen door planten. Ook wordt er meer antropogene warmte geproduceerd in steden (e.g.: auto's, airconditioning, etc.). Tot slot is er vooral s 'nachts boven steden minder luchtcirculatie dan in het open omliggende land waardoor warmte lucht dan op straatniveau blijft hangen. Figuur 6.9 laat zien hoe het SHE-fenomeen leidt tot vooral hogere nachtelijke temperaturen. Het maximale verschil in nachtelijke temperatuur tussen de binnenstad en het ommeland kan zo'n 5°C zijn onder zomercondities.

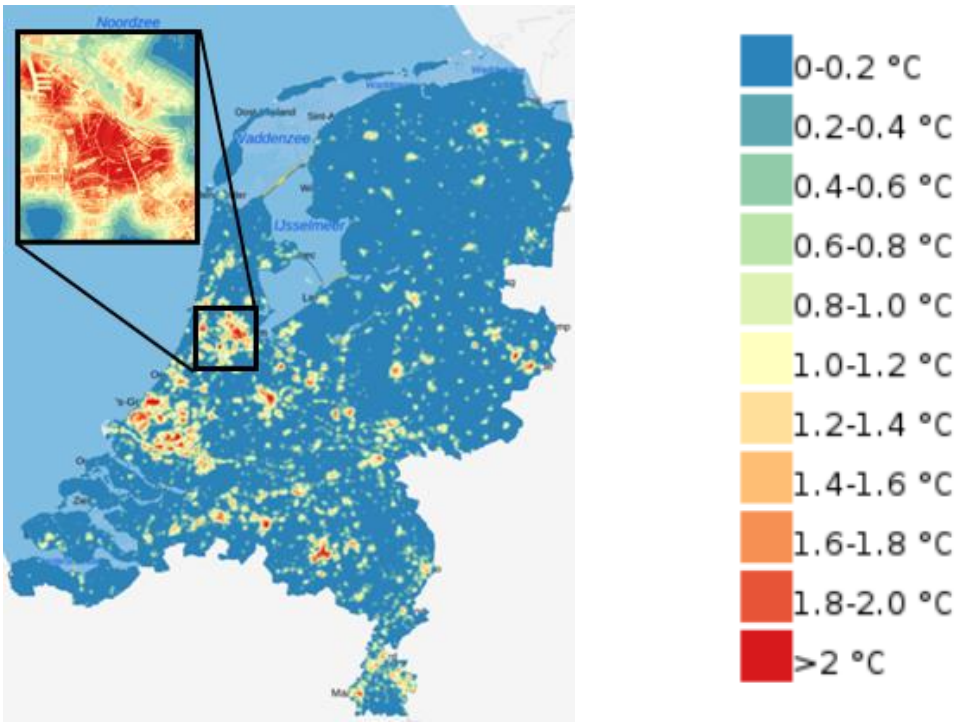


Figuur 6.8 Het stedelijk hitte eiland. In steden is er sprake van een andere warmtebalans dan in het ommeland (boven). Ook is er, vooral s'nachts, minder luchtcirculatie tussen laag- en hogergelegen luchtlagen dan in het ommeland (onder).

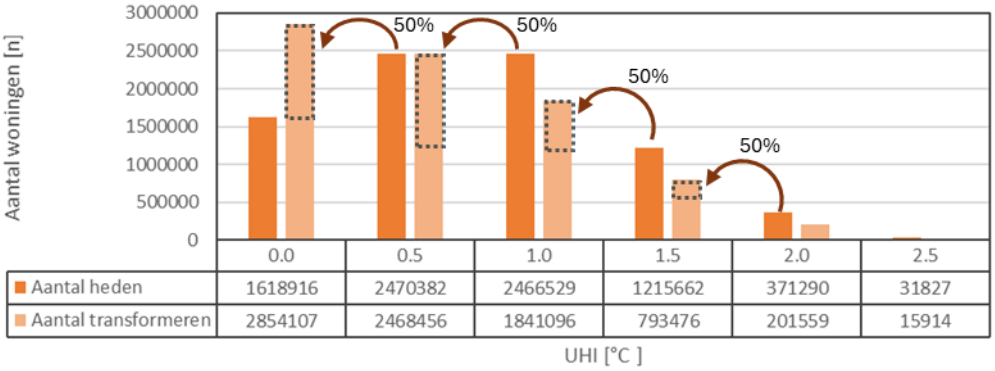


Figuur 6.9 Verschillende mate van het stedelijk hitte eiland (SHE of UHI in de grafiek) en het effect daarvan op de nachtelijke temperatuur. UHI_0 in de grafiek betreft een volledig landelijke omgeving (SHE:0°C). UHI_5 betreft een zeer grootstedelijke omgeving zoals het centrum van Amsterdam (SHE:5°C). Grafiek door (Kluck et al., 2023) gebaseerd op transformaties van meetgegevens gebruik makend van de methode van (Koopmans et al., 2020; Theeuwes et al., 2017).

Figuur 6.10 toont de stedelijk hitte eiland kaart van het RIVM. Deze kaart is gebaseerd op berekeningen en geografische gegevens en toont de mate waarin verschillende steden en het ommeland blootgesteld zijn aan het stedelijk hitte eiland effect. De SHE schaal in deze kaart betreft een 24 uursgemiddeld SHE (verder aangeduid met $SHE_{gemiddeld}$) waarbij de beperkte temperatuursverhoging overdag de veel grotere temperatuursverhoging 's nachts deels tenietdoet. Het maximale verschil in temperatuur kan dus veel groter zijn dan dit gemiddelden. Gebieden met meer dan 2°C gemiddeld SHE kunnen s 'nachts maximaal meer dan 5°C warmer kunnen zijn (verder aangeduid met SHE_{max}). Het aantal woningen dat is blootgesteld aan het stedelijk hitte eiland effect is aanzienlijk (donkeroranje in Figuur 6.11). Zo'n 50% van alle woningen bevindt zich momenteel in gebieden met $SHE_{gemiddeld}$ van meer dan 1°C (de groene lijn in Figuur 6.9 met SHE_{max}-2°C is representatief voor een $SHE_{gemiddeld}$ van 1°C).



Figuur 6.10 Lokale verschillen in de bloostelling aan hittestress: het stedelijk hitte eiland effect. Bron: RIVM stedelijk hitte eiland kaart gebaseerd op de methode beschreven in Lauwaet et al., (2018)



	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Aantal heden	1618916	2470382	2466529	1215662	371290	31827
Aantal transformeren	2854107	2468456	1841096	793476	201559	15914

Figuur 6.11 Aantallen woningen (grondgebonden en meersgezinswoningen) die in het heden zijn blootgesteld aan verschillende mate van het stedelijk hitte eiland effect (SHE of UHI). Analyse door TNO op basis van beschikbare GIS-gegevens.

In het adaptatie scenario transformeren zal er meer worden ingezet op vergroening van bestaande steden. Ook zullen bestaande populatie centra in mindere mate worden verdicht en uitgebreid. Figuur 6.11 geeft een grove indicatie van welk effect dit kan hebben op de blootstelling. Op basis van de literatuur en de inventarisatie van adaptatie maatregelen in het transformeren scenario lijken reducties in het $UHI_{gemiddeld}$ van zo'n 0.5-1°C haalbaar als er grootschalig wordt ingezet op vergroening van het stedelijk gebied. Figuur 6.11 (licht oranje) laat zien wat er gebeurt in de hypothetische situatie waarin bij 50% van alle woningen het $SHE_{gemiddeld}$ met 0.5°C verlaagd kan worden. In die situatie in het transformeren scenario zou nog maar 35% van alle woningen blootgesteld zijn aan een $SHE_{gemiddeld}$ van hoger dan 1°C.

6.4.3 Blootstelling in de verschillende context- en adaptatiescenario's

De mate van blootstelling in de verschillende context- en adaptatiescenario's hangt af van hoe klimaatverandering en het stedelijk hitte eiland effect zullen interacteren. Hierin zijn nog veel onzekerheden. Tabel 6.4 laat zien hoe extreme situaties er uit zien qua blootstelling aan het SHE-effect in combinatie met de verschillende contextscenario's. De tabel laat met enkele statistieken zien hoe de buitenluchttemperatuur verandert afhankelijk van het klimaatscenario en de mate waarin er een stedelijk hitte eiland optreedt. De tabel laat zien hoeveel uren per jaar bepaalde temperaturen worden overschreden waarbij een overschrijding van 26°C dus ook geteld wordt als een overschrijding van 24°C. De grafiek geeft ook een beeld van het uiterste effect dat een adaptatiebeleid dat inzet op het reduceren van het stedelijk hitte eiland kan hebben op de blootstelling. Hier wordt er alleen gekeken naar de twee uiterste situaties: één zonder SHE en één met een SHE_{max} van 5°C (ongeveer gelijk aan $SHE_{gemiddeld}$ van 2°C in Figuur 6.11). De tabel is dus niet direct te vertalen naar blootstelling in aantallen woningen. Wel zegt de tabel iets over de uitersten.

Te zien is dat de combinatie van het stedelijk hitte eiland en klimaatverandering tezamen een substantiële toename in de bloostelling met zich meebrengen. Deze tabel toont o.a. het aantal uren per jaar met een tropische temperatuur van boven de 30°C. In een volledige landelijke situatie zonder SHE zijn er in een warm jaar (één op de 20) in het heden zo'n 43 uren per jaar met zulke tropische temperaturen. In het sterk risico verhogende scenario (KNMI Hd) neemt de blootstelling aan tropische temperaturen in 2050 bij die landelijke context toe tot 160 uren per jaar. Bij een sterk stedelijk hitteland (SHE 5°C) neemt de blootstelling echter nog sterker toe. Waar in het heden er sprake is van zo'n 88 uren met tropische temperaturen per jaar neemt dit in 2050 in het sterk risico verhogende scenario toe tot wel 240 uur per jaar.

Tabel 6.4 Aantal uren per jaar waarop een bepaalde buitenluchttemperatuur wordt overschreden afhankelijk van de bloostelling aan het SHE in de verschillende klimaatveranderingsscenario's. De getelde uren betreffen alle overschrijdingen van die temperatuur waarbij een overschrijding van 26°C dus ook als een overschrijding van 24°C geteld wordt. Afbeelding uit: Haytink et al., (2025).[5]

	Geen stedelijk hitte eiland ~0°C SHE_{max}				**Sterk Stedelijk Hitte Eiland ~5°C SHE_{max}**		
Risicoscenario:		**Beperkt verhogend**	**Sterk verhogend**			**Beperkt verhogend**	**Sterk verhogend**
T (°C)	De Bilt – Heden [uren/jaar]	De Bilt 2033L [uren/jaar]	De Bilt 2050Md [uren/jaar]		De Bilt – Heden [uren/jaar]	De Bilt 2033L [uren/jaar]	De Bilt 2050Md [uren/jaar]
24°C	297	471	550		420	640	712
26°C	168	284	349		256	384	463
28°C	90	159	202		135	221	272
30°C	38	78	101		65	120	140
32°C	5	22	43		22	38	71
34°C	0	3	9		1	5	21
36°C	0	0	7		0	0	8
≥30°C	43	103	160		88	163	240

[5] de klimaatscenario's sluiten hier niet volledig aan bij de Hd en Ln scenarios die zijn gekozen voor het sterk en beperkt risico verhogende scenario. In de tabel wordt daarom het meest representatieve klimaatscenario gekozen voor deze twee risicoklassen.

6.5 Gevoeligheid

Bewoners en hun gedrag

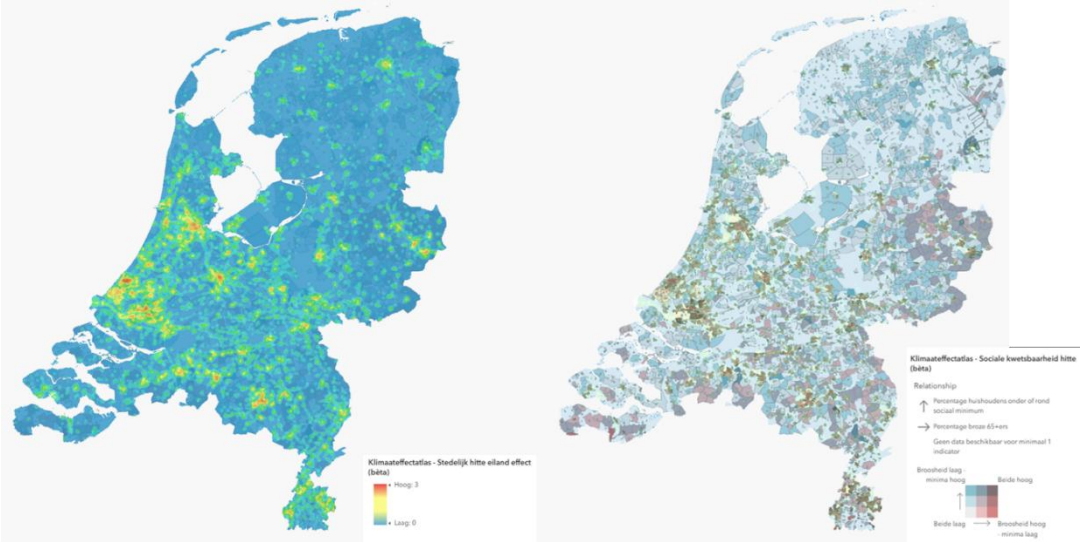
- Ouderen en mensen met gezondheidsproblemen (hart, longen, nieren) zijn het meest kwetsbaar.
- Lage inkomensgroepen hebben minder middelen voor hittebescherming (zonwering, ventilatie, airco).
- Actief nachtelijk spuien (natuurlijk ventileren wanneer het buiten koeler is) is zeer effectief.
- Situaties waar s 'nachts niet goed gespuid kan worden lopen een groter risico op oververhitting. In enquête onderzoek geeft 28% van de ondervraagden bewoners aan de woning s'nachts niet goed te kunnen spuien.

Woningen

- Woningen met hoge zontoetreding zonder zonwering zijn het meest gevoelig.
- Slechte ventilatie (ramen dicht of alleen korte tijd open) verhoogt oververhitting sterk.
- Appartementen (vooral bovenwoningen onder daken) zijn gevoeliger dan rijwoningen.
- Goed geïsoleerde woning zonder voldoende spuimogelijkheden hebben een groter risico op oververhitting.

6.5.1 Gevoeligheid van bewoners voor hittestress en thermisch discomfort

De mate van thermisch comfort en de gevoeligheid voor hittestress van bewoners wordt naast de fysische toestand van het binnenmilieu, ook bepaald door de fysieke gesteldheid van bewoners, de mate waarin bewoners zich kunnen aanpassen en door hun subjectieve beleving. Aanpassend gedrag kan het aanpassen van de kleding zijn of een interactie met het gebouw en de omgeving (zoals het openen van ramen en de bediening van zonwering). Kwetsbare bewoners zoals ouderen of bewoners met een fysieke gezondheidsproblemen (e.g.: hart-, ademhalings- en nieraandoeningen) hebben een grotere gevoeligheid voor schadelijke gezondheidseffecten van hitte. Ook zijn deze bewoners veelal minder goed in staat om zichzelf of hun leefomgeving aan te passen. Zij zijn bijvoorbeeld niet of verminderd in staat om zelfstandig hun kleding kunnen aanpassen of ramen kunnen bedienen. Ook inkomen speelt een rol in de mate van kwetsbaarheid doordat lagere inkomens veelal minder mogelijkheden hebben om hitte in de eigen leefomgeving te verhelpen door maatregelen als de aanschaf van zonwering, airconditioning of horren. Figuur 6.12 toont een sociale kwetsbaarheidskaart voor hitte. Deze kaart toont het aandeel bewoners in een gebied in het heden met een broze gezondheid in relatie tot het aandeel huishoudens met een sociaal minimum inkomen. Te zien is dat gebieden met een hoog aandeel kwetsbare personen zich concentreren rond de grote steden waar ook sprake is van een hoog SHE. De verwachting is dat in de toekomst het aandeel ouderen in de samenleving flink zal toenemen. Het daarom aannemelijk dat het aantal personen dat kwetsbaar is voor hitte ook aanzienlijk zal toenemen.



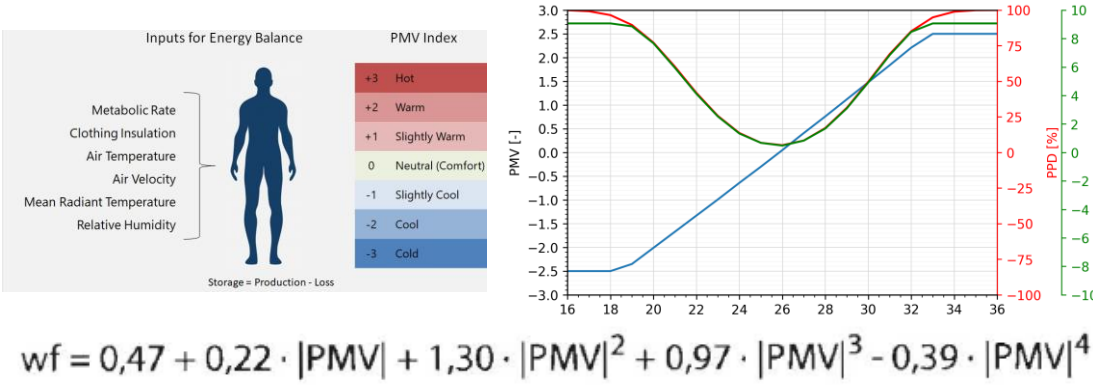
Figuur 6.12 Stedelijk hitte eiland kaart (links) en sociale kwetsbaarheidskaart (rechts). De sociale kwetsbaarheidskaart toont de gebieden waar de meeste mensen wonen met een broze gezondheid alsook een laag inkomen. Te zien is dat de meest kwetsbare bewoners veelal in grootstedelijke omgevingen wonen met een groot SHE.

6.5.2 Het kwantificeren van gevoeligheid voor oververhitting

In de volgende paragrafen zal de gevoeligheid van woningen voor oververhitting beoordeeld worden door naar verschillende indicatoren te kijken. Er zal worden gekeken naar het effect van blootstelling op de binnen luchttemperatuur in woningen. In de Nederlandse bouwpraktijk wordt oververhitting meestal gekwantificeerd vanuit het oogpunt van comfort en niet vanuit hitte stress. Comfort wordt beoordeeld door te kijken naar tijdsoverschrijdingen van comfortabele binnen condities. Binnen bestaande normen die gebruikt worden voor toetsing van bouwplannen aan de omgevingswet wordt hierbij gebruik gemaakt van de GTO-uren methodiek waarmee oververhitting in een woning over een tijdsperiode kan worden uitgedrukt in een enkel getal. Omdat in de bestaande literatuur oververhitting veelal wordt uitgedrukt in termen van deze indicator wordt deze hier toegelicht.

De GTO-uren methodiek maakt gebruik van het thermisch comfort model van (Fanger, 1973). Dit model is gebaseerd op experimenten waarin proefpersonen gevraagd zijn naar hun thermische comfortbeleving in een laboratium omgeving met gecontroleerde omstandigheden. Het model voorspelt de comfortbeleving van een populatie proefpersonen in reactie op optredende binnen condities en condities van de proefpersonen (zie parameters en voorspelling van het comfortniveau bij verschillende binnenluchttemperaturen in Figuur 6.13). In de GTO-uren methodiek worden uren met binnencondities waarbij het model voorspelt dat het te warm is geteld als temperatuur overschrijdingsuren[6]. Daarbij worden uren met een grotere comfort overschrijding zwaarder gewogen dan uren met een kleine overschrijding. In een geval waarin alle andere parameters constant zijn wordt één uur waarop het binnen 27°C is geteld als 1 GTO-uur en wordt 1 uur waarop het binnen 30°C geteld als 5 GTO-uren.

[6] Een comfortoverschrijding wordt geteld wanneer een PMV-index van 0.5 (‘slightly warm’) overschreden wordt. De mate waarin de tijdsoverschrijding gewogen wordt bepaald met de formule in **Figuur 6.13**



$$wf = 0{,}47 + 0{,}22 \cdot |PMV| + 1{,}30 \cdot |PMV|^2 + 0{,}97 \cdot |PMV|^3 - 0{,}39 \cdot |PMV|^4$$

Figuur 6.13 Thermisch comfort beoordeling met het Fanger Thermisch comfort model. Dit model wordt in de Nederlandse bouwpraktijk gebruikt om oververhitting te bepalen in termen van Gewogen Temperatuur Overschrijdingsuren (GTO-uren).
Links: de voorspellende parameters in het model en de thermische beleving (PMV-index) die het model voorspelt.
Rechts: de thermische beleving (PMV: blauwe lijn) die het model voorspelt bij verschillende binnen luchttemperaturen wanneer de andere parameters constant gehouden worden.
Onder: formule die wordt gebruikt om de weegfactor (groene lijn in de grafiek) te bepalen in de GTO-uren methode. Door deze weegfactoren worden uren met een hogere temperatuuroverschrijding zwaarder geteld.

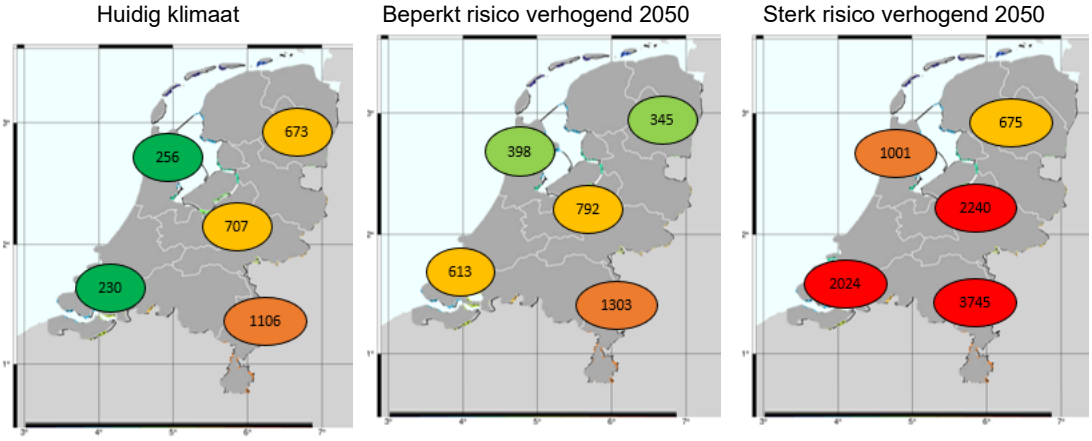
In het NKWK-project Hitte in bestaande woningen zijn GTO-grenswaarden gedefinieerd (Figuur 6.14) waarmee het risico op oververhitting geclassificeerd kan worden in termen van een hitte label (Kluck et al., 2023). Deze geven een beeld van hoe de hoeveelheid optredende GTO-uren in een jaar in een woning geïnterpreteerd kan worden. Het is van belang om te benadrukken dat de GTO-uren methodiek oorspronkelijk voor kantoren bedacht is en dat er nog onvoldoende onderzocht is in welke mate de aannames die in deze methode gedaan worden geldig zijn voor in woningen waarin ook andere functies zoals slapen van belang zijn. Ook is onduidelijk in hoeverre adaptatie plaatsvindt bij mensen in hun leefomgeving door bijvoorbeeld hun kledingkeuze te wijzigen. Momenteel wordt er gewerkt aan beoordelingsmethodiek die beter aansluit bij woningen. Daarnaast wordt door NEN ook gewerkt aan een objectieve beoordelingsmethode voor temperatuurmetingen in woningen.

Label	GTO-uren eis	Omschrijving
A	$GTO_{uren} \leq 450$	Zeer kleine mate van oververhitting
C	$450 \leq GTO_{uren} \leq 900$	Matige oververhitting
D	$900 \leq GTO_{uren} \leq 1800$	Oververhitting
E	$1800 \leq GTO_{uren} \leq 3200$	Grote mate van oververhitting
F	$3200 \leq GTO_{uren}$	Zeer grote mate van oververhitting

Figuur 6.14 Hittelabels voor het classificeren van het risico op oververhitting in een bestaande woning. De classificatietabel is ontwikkeld in het Hitte in de Woning project binnen het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat (NKWK) door (Kluck et al., 2023). In dit onderzoek is een de klasse B weggelaten waar aanvullende eisen voor bestaan. Ook is de klasse F toegevoegd.

6.5.3 Gevoeligheid voor hittestress door verschillen in regionaal klimaat

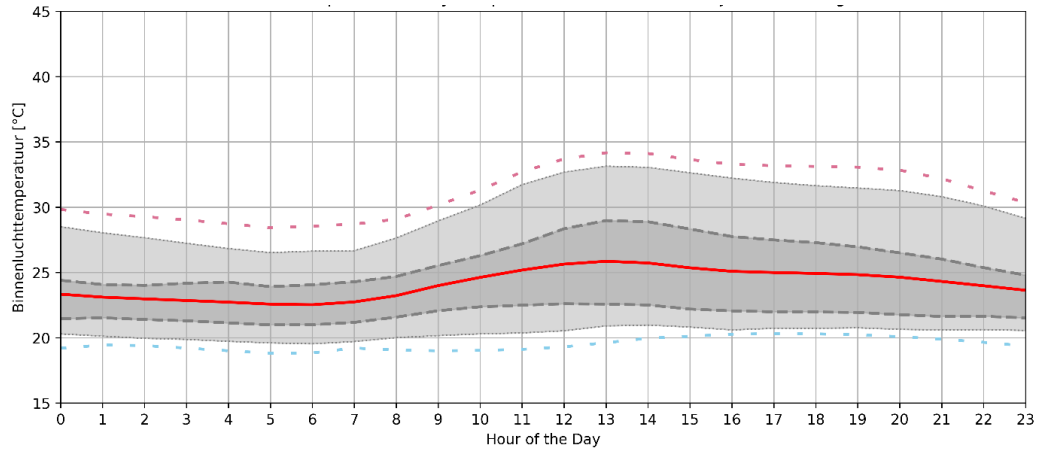
Figuur 6.15 laat het effect zien van regionale verschillen in blootstelling op oververhitting in woningen. De afbeelding laat per regio het aantal GTO-uren per jaar zien voor de twee risico scenario's. De omvang van de regionale verschillen is groot. Het verschil tussen de koelere regio's van het land (e.g.: Alkmaar) en de warmere regio's (e.g.: Roermond) is zelfs groter dan de toename in oververhitting van een enkele locatie in het beperkt risico verhogende scenario. De regionale verschillen lijken ook groter te worden bij een grotere mate van klimaatverandering. Opmerkelijk is dat het aantal GTO-uren in het noordoosten van het land in het beperkt risico verhogende scenario lijkt af te nemen. Dit komt door de mate van variabiliteit in het weer dat zich ook nog binnen een scenario kan voordoen en doordat het KNMI bij het selecteren van de klimaatjaren vooral naar luchttemperatuur gekeken heeft en niet naar zonnestraling. Deze weerseffecten hebben vooral een effect op de voorspelling van oververhitting bij de klimaat scenario's die relatief dicht bij elkaar liggen zoals het huidige klimaat en het klimaat in het beperkt risico verhogende scenario. In hoofdstuk **Error! Reference source not found.** zullen de onzekerheden die hier uit voortvloeien verder worden besproken.



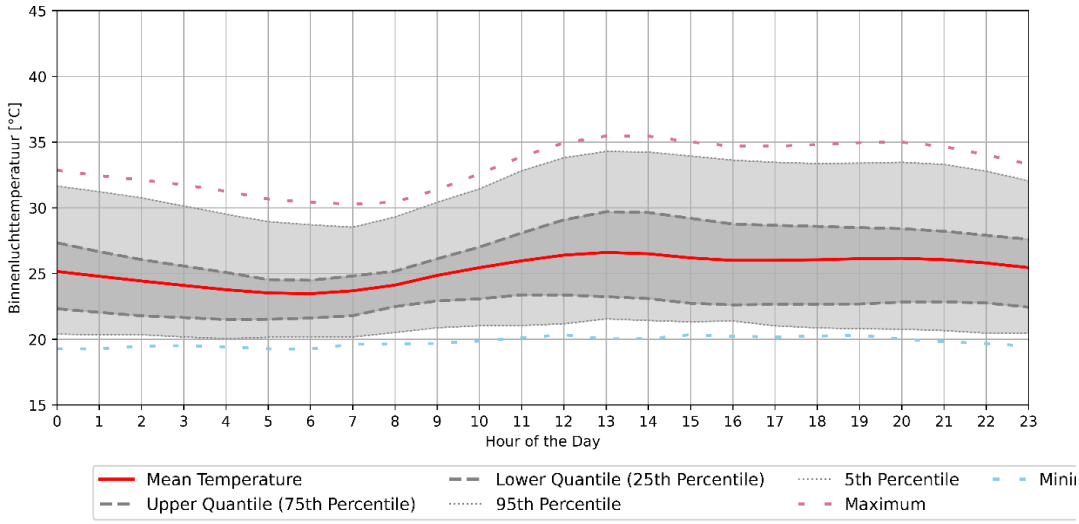
Figuur 6.15 Oververhitting in termen van GTO-uren voor verschillende regio's en klimaatscenario's. Resultaten van een simulatiestudie door (Haytink et al., 2025)

6.5.4 Gevoeligheid voor hittestress door het stedelijk hitte eiland effect

Door de hogere nachttemperatuur kunnen woningen die zich bevinden in een omgeving met een hoog stedelijk hitte eiland effect s 'nachts minder goed hun warmte kwijt. Hierdoor bouwt de temperatuur in een woning zich gedurende een hittegolf sterker op. Figuur 6.16 toont de resultaten van een simulatie van binnenluchttemperaturen met een thermische gebouw model mét en zónder stedelijk hitte eiland effect (SHE_{max} 5°C). Te zien is dat de nachtelijke temperatuur in de woning veelal 2°C hoger ligt bij de woning met een sterker stedelijk hitte eiland effect.



Woning in de Bilt zonder stedelijk hitte eiland effect



Woning in de Bilt met een stedelijk hitte eiland effect van maximaal 5°C

Figuur 6.16 Verdelingsgrafiek die de binnenluchttemperatuur in een appartement toont over de periode juni-augustus in het huidige klimaat van de Bilt zonder stedelijk hitte eiland effect (boven) en met een sterk SHE (maximaal 5°C). Resultaten van een simulatie met een thermisch gebouwmodel door TNO.

Figuur 6.17 laat het effect zien van het SHE op oververhitting in woningen. De figuur toont simulatieresultaten in termen van GTO-uren voor rijwoningen en appartementen (F. de Vries et al., 2024). Te zien is dat de mate van oververhitting binnen in de woning zeer gevoelig is voor het SHE-effect. Het aantal GTO-uren is bij een sterk SHE is zo'n 2-3 keer hoger dan bij een woning in een landelijke omgeving.

Gedrag	Rijwoning Bloemkoolwijk (slaapkamer op zuid-oost, met zonwering)			Portiekappartement Tuinstad hoogbouw (slaapkamer op zuid-oost, met zonwering)		
	UHI van 0 °C	UHI van 3 °C	UHI van 5 °C	UHI van 0 °C	UHI van 3 °C	UHI van 5 °C
	611	1283	1980	2051	3585	4855
	157	497	916	681	1562	2523
	10	92	249	87	329	660
	88	227	401	174	408	699

Figuur 6.17 Simulatie resultaten uit het Raak hitte in de woning project. De figuur toont GTO-uren voor twee typen woningen (rijwoning en een appartement) en gebruikersgedragingen wat betreft het openen en sluiten van ramen (de rijen in te de tabel). Iedere variant is gesimuleerd een verschillende waarde van SHE_{max} (hier UHI genoemd). Te zien is dat de mate van oververhitting zeer sterk toeneemt bij een groter SHE-effect

6.5.5 Gevoeligheid voor hittestress door risicoverhogende gebouwkenmerken

Figuur 6.18 afkomstig uit de stimulatiestudie door (F. de Vries et al., 2024) toont een aantal andere aspecten die van invloed zijn op de gevoeligheid van een woonsituatie voor oververhitting. De figuur laat zien dat de mate van zontoetreding in de woning en de mate waarin er in een woning kan worden gespuid (het openen van ramen) een zeer grote invloed hebben op oververhitting. Zontoetreding wordt beïnvloed door adaptatiemaatregelen zoals zonwering maar ook door vaste gebouwkenmerken zoals of er een overstek of galerij aanwezig is. Ook beschaduwing door bomen en belendende gebouwen helpt oververhitting tegen te gaan. De mate waarin een woning goed geventileerd kan worden door het openen van ramen (spuien) hangt sterk af van het aantal en de grootte van raamopeningen. Rijwoningen met raamopeningen in meerdere geveloriëntaties kunnen beter doorgelucht worden dan appartementen. Hierdoor zijn rijwoningen als gebouw type minder gevoelig voor oververhitting dan appartementen. Het meest ongunstig zijn corridor woningen die maar aan één zijde een gevel hebben waar ramen geopend kunnen worden.

De figuur laat ook zien dat de isolatiegraad van de woning van invloed is. Beter geïsoleerde woningen hebben ook een betere kierdichting en luchtdichtheid. Hierdoor kan de woning minder goed zijn warmte kwijt. Vooral de situaties waar niet goed geventileerd wordt en er sprake is van een hoge zontoetreding zijn nog riskanter als een woning ook nog goed geïsoleerd is. In de gevallen waar goed geventileerd wordt en de woning is uitgerust met zonwerende maatregelen heeft meer isolatie zelfs een verkoelend effect doordat het warmtetoetreding door de gebouwschil helpt voorkomen.

Het effect van zontoetreding op oververhitting

Portiek appartement	Zonder zonwering		Omgevings schaduw (AV65)		Overstek (60cm)		coating / folie buitenzijde		met b
	Zuid	West	Zuid	West	Zuid	West	Zuid	West	Zuid
Gedrag	8301	11145	6705	3879	4493	8271	3145	4285	2637
	4473	6174	3437	1702	2140	4308	1291	1674	1094
	1422	1910	994	351	537	1189	263	307	228
	990	1205	771	430	512	835	323	346	331

Het effect van de mate waarin woning beschikt over mogelijkheden om te spuien

Portiek appartement	Rijwoning		Appartement portiek		Appartement corridor	
	zonder zonwering	met zonwering	zonder zonwering	met zonwering	zonder zonwering	met zonwering
Gedrag	3849	1283	10878	3585	9418	3585
	1448	398	5394	1285	8536	2436
	334	65	1593	236	4667	944
	386	224	1000	354	3106	823

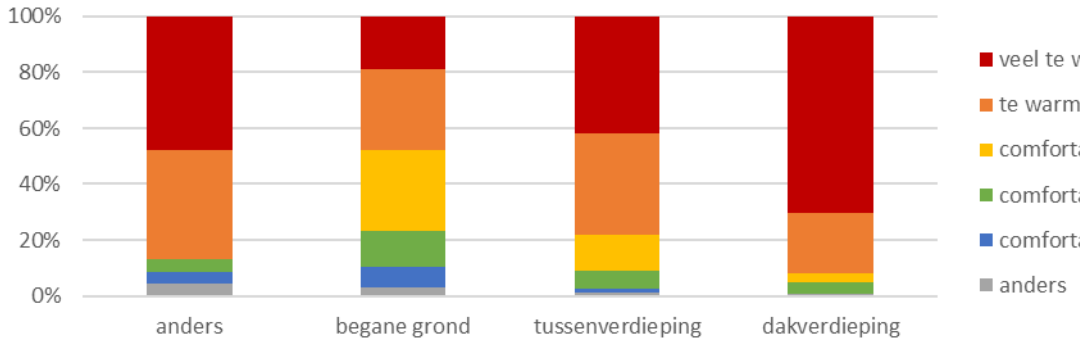
Het effect van een hogere mate van isolatie

	Rijwoning zonder zonwering (slaapkamer, orientatie zuid-oost, UHI van 3 °C)			Rijwoning met zonwering (slaapkamer, orientatie zuid-oost, UHI van 3 °C)			Portiek zonder zonwering (slaapkamer, orientatie zuid-oost, UHI van 3 °C)			Portiek met zonwering (slaapkamer, orientatie zuid-oost, UHI van 3 °C)		
	slechte isolatie (Rc 0-2,5)	redelijke isolatie (Rc 2,5-3,5)	goede isolatie (Rc 4,5)	slechte isolatie (Rc 0-2,5)	redelijke isolatie (Rc 2,5-3,5)	goede isolatie (Rc 4,5)	slechte isolatie (Rc 0-2,5)	redelijke isolatie (Rc 2,5-3,5)	goede isolatie (Rc 4,5)	slechte isolatie (Rc 0-2,5)	redelijke isolatie (Rc 2,5-3,5)	goede isolatie (Rc 4,5)
Gedrag	3849	4664	5158	1283	1297	1216	10878	17638	19023	3585	6234	5754
	1638	1429	1451	497	347	245	6302	8278	8211	1562	1715	1221
	442	250	240	92	30	12	2150	1812	1645	329	138	55
	444	329	291	227	153	123	1279	1016	869	408	255	183

Figuur 6.18 Simulatie resultaten uit het Raak hitte in de woning project. De figuur toont GTO-uren voor verschillende typen woningen en gebruikersgedragingen in het openen en sluiten van ramen (de rijen in de tabellen). Te zien is dat zontoetreding en de mate waarin een woning goed geventileerd kan worden zeer veel invloed hebben op de mate van oververhitting. Ook de mate waarin een woning geïsoleerd is beïnvloedt oververhitting. Te zien is dat woningen na na-isolatie met een hoge zontoetreding en waar niet goed geventileerd wordt (of kan worden) het meest kwetsbaar zijn voor oververhitting.

Ook de positionering van een woning binnen in een gebouw of ten opzichte van aangrenzende woningen kan de mate oververhitting beïnvloeden. Figuur 6.19 toont resultaten van een enquête onder 2000 bewoners. De figuur laat zien dat bewoners die in een appartement direct onder het dak wonen substantieel vaker aangeven comfortproblemen te hebben ervaren dan

bewoners die op een tussenverdieping wonen. De meest aannemelijke fysische verklaring hiervoor is dat zonne-energie die door de dakhuid wordt geabsorbeerd naar binnen wordt overgedragen en zorgt voor oververhitting. De figuur laat ook zien dat bewoners van een woning op de begane grond het binnenklimaat het vaakst als comfortabel beoordeelden. Een fysische verklaring hiervoor zou zijn dat begane grond woningen minder worden blootgesteld aan zontoetreding door beschaduwende elementen uit de omgeving (e.g.: bomen, gebouwen). Ook verliest een begane grond woning soms ook meer warmte richting de bodem doordat de grondtemperatuur redelijk constant is in Nederland (~10°C) en eventuele fluctuaties trager gaan dan die van de buitenluchttemperatuur.

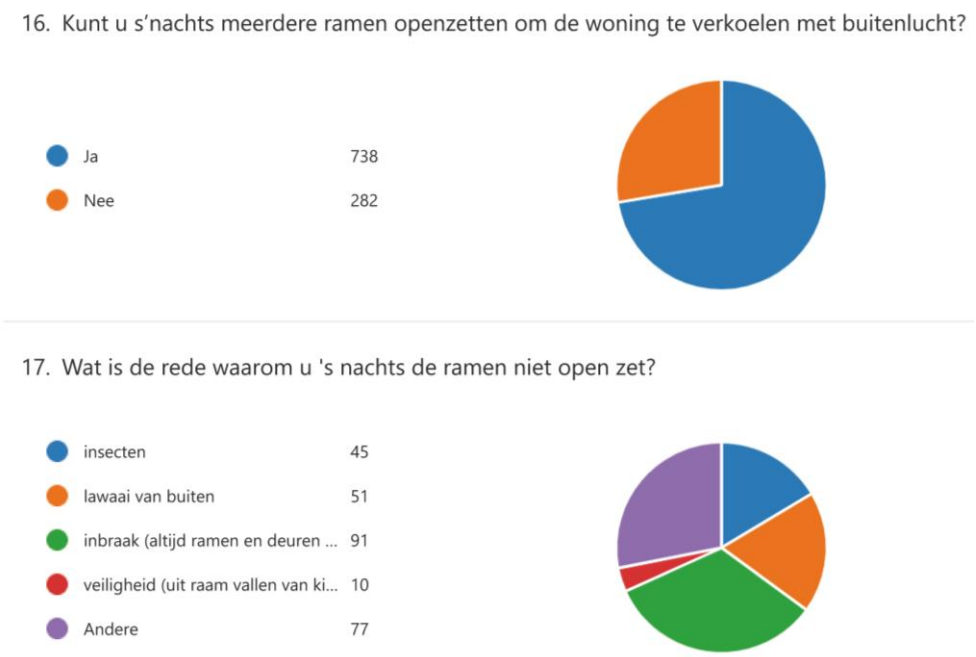


Combinatie van reacties op de vragen:
‘Op welke verdieping woont u?'
'Hoe heeft u de temperatuur in de woonkamer ervaren tijdens warme dagen afgelopen zomer?'

Figuur 6.19 Resultaten van een enquête onder zo’n 2000 bewoners van Nederlandse corporatiewoningen na de zomer van 2022 door (F. de Vries et al., 2024). Te zien is dat bewoners die direct onder het dak wonen vaker aangeven dat zij de temperatuur in hun woning als ‘veel te warm’ beleefden. Bewoners die op de begane grond wonen beleefden de woning vaker als comfortabel.

6.5.6 Gevoeligheid voor spuigedrag van de bewoner

Figuur 6.18 laat ook het effect zien van het gedrag van de bewoner in het openen en sluiten van ramen. De rijen in de tabellen laten vier gedragsvarianten zien, van boven naar beneden: (1) een bewoner die nooit ramen opent, (2) een bewoner die ramen alleen kort in de ochtend en avond opent, (3) een bewoner die alleen s ‘nachts ramen opent als het buiten koeler is, en (4) een bewoner die ten alle tijden ramen opent wanneer het binnen warm wordt ongeacht de buitentemperatuur. Deze gedragsvarianten zijn gebaseerd op een monitoringsstudie onder zo’n 65 huishoudens waarin bewoners gevraagd zijn om hun gedrag bij te houden tijdens een periode met een hittegolf in een logboek. Hieruit bleek dat respectievelijk 21, 15, 44 en 21% van de ondervraagden de hiervoor genoemde gedragspatronen lieten zien. De figuur laat zien dat dit spuigedrag veel invloed heeft op de mate van oververhitting in de woning. Vooral wanneer er s’nachts geen ramen opengezet worden (rij 1 en 2) leidt dit tot zeer sterke oververhitting. Deze risicoverhogende situatie lijkt in de praktijk veel voor te komen. In een enquête onder zo’n 2000 respondenten uit hetzelfde onderzoek gaf 28% van de ondervraagden aan s ‘nachts niet ramen te kunnen of willen openen, zie Figuur 6.20.



Figuur 6.20 Resultaat uit enquête onderzoek naar beleving en aanpassing aan hitte in de woning onder zo'n 2000 huurders van woningbouwcorporaties.

6.6 Impact

- Uit een simulatiestudie van TNO blijkt dat op dit moment zo'n 35% van de Nederlandse meergezinswoningen onvoldoende bescherming biedt tegen oververhitting.
- Dit leidt tot een binnenklimaat met ernstige comfortproblemen. Zoals ook blijkt uit enquête onderzoek waar 34% van de bewoners aangeeft vaak of veel last te hebben van hitte in hun woning.
- In 2050 zal het aantal meergezinswoningen met dit soort comfortproblemen toenemen tot 41% van het totale bestand in het beperkt risico verhogende scenario (Ln scenario van de KNMI) en tot 57% in het sterk risico verhogende scenario (Hd-scenario van de KNMI).
- In het 'intensiveren' beleidsscenario kan grootschalige inzet van passieve maatregelen het aandeel problematische woningen weer terugbrengen tot 35%. Dit vraagt ingrepen in 380.000 tot 1,1 miljoen woningen, afhankelijk van of respectievelijk het beperkte of het sterk risico verhogende scenario optreedt.
- In het 'transformeren' beleidsscenario houden ruimtelijke maatregelen (zoals vergroening en bomen) het aantal probleemwoningen stabiel in het beperkt risico verhogende contextscenario, maar kan het aantal probleemwoningen oplopen tot 52% in het sterk risico verhogende scenario.
- Bepalend factoren voor het risico op oververhitting in Nederlandse woningen zijn:
    - De mate van zontoetreding (e.g.: zonwering, type glas, beschaduwing door bomen)
    - De mate waarin er voldoende geventileerd kan worden (e.g.: voldoende spuivoorzieningen, de mate waarin bewoners dit zelfstandig kunnen)
    - De mate van het stedelijk hitte eiland effect
    - De regio van Nederland. Woningen in het zuidoosten van het land zijn het meest gevoelig.
    - De mate van isolatie vooral bij woningen waar niet voldoende gespuid wordt.
- In de meest gevoelige situaties (combinatie van de bovenstaande factoren) zijn passieve maatregelen alleen niet voldoende om grote comfortproblemen te voorkomen. Bij die woningen kan een gezond binnenklimaat in de toekomst alleen bereikt worden met actieve koeling.

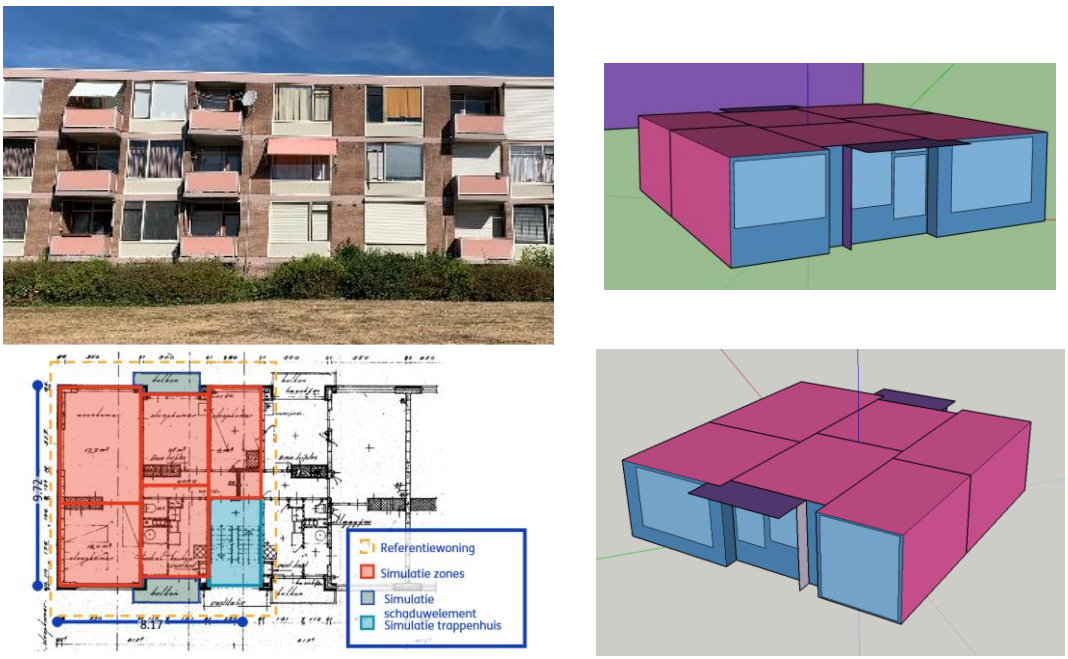
6.6.1 Aanpak impactstudie

Om inzicht te krijgen in de mogelijke impact van de verschillende context- en adaptatiescenarios is door TNO een simulatiestudie uitgevoerd. Voor deze studie zijn de volgende stappen doorlopen:

1. **Thermische simulatie van binnen condities** a.d.v. verschillende klimaatgegevens horende bij verschillende Nederlandse regio's en klimaatveranderingsscenarios en variaties voor de gebouw- en gedragsaspecten die het meest invloed hebben op oververhitting (zie paragraaf 6.5 e.g.: wel/geen zonwering, spuigedrag, etc.).
2. **Analyse van het aantal Nederlandse woningen** waarvoor de verschillende simulatie resultaten een representatief beeld geven. Hierbij worden het aantal woningen geteld dat zich binnen de verschillende blootstellingsgebieden bevinden. Ook zijn binnen deze gebieden de aantallen woningen geteld die bepaalde kenmerken hebben die de gevoeligheid vergroten (e.g.: het aantal woningen met goede isolatie). Hierbij is gebruik gemaakt van de openbaar toegankelijke GIS-gegevens de in het blootstellingshoofdstuk besproken zijn.
3. **What-if scenario analyses.** Hierbij is de impact van verschillende context- en adaptatiescenarios op hittestress beoordeeld door te kijken naar de hoeveelheid woningen

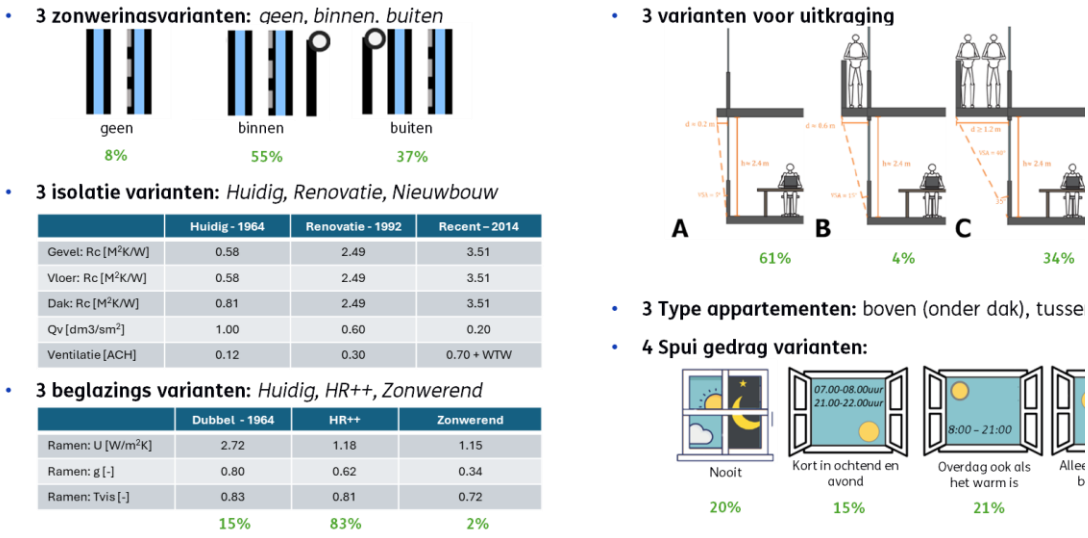
met een groot risico op oververhitting in ieder van de scenario's. Het effect van toekomstige adaptatiemaatregelen wordt hierbij beoordeeld door de verhouding in het aantal woningen waar bepaalde maatregelen genomen zijn te wijzigen.

Figuur 6.21 toont het basismodel dat in de impactstudie als uitgangspunt gebruikt is. Dit basismodel is gebaseerd op een reeks appartementen in een portieketage flat. In de impactstudie is ervoor gekozen om vooralsnog alleen appartementen te simuleren en geen rijwoningen en vrijstaande woningen omdat appartement het gevoeligst zijn voor oververhitting (zie paragraaf 6.5). Het basismodel is afkomstig uit het eerdere RAAK Hitte in de Woning project. Die modellen zijn door de Hogeschool van Amsterdam en W/E adviseurs gevalideerd en de model aannames zijn gekalibreerd middels vergelijkingen met metingen (zie Bijlage A). Het basismodel is door TNO aangepast om algemener toepasbaar te zijn.



Figuur 6.21 De referentie woning en de geometrische invoer die in het basismodel gebruikt is. Linksboven: de referentiewoning die is geselecteerd voor het basismodel

Figuur 6.22 toont alle aspecten die gevarieerd zijn in de simulatiestudie om een beeld te krijgen van de mate van oververhitting bij een breed scala aan appartementen, maatregelen en gebruikersgedragingen. In de simulatiestudies zijn deze aspecten gevarieerd in een volledig factoriale proefopzet waarbij iedere gebouw en gedragsvariant is gesimuleerd met 9 verschillende varianten (Tabel 6.5) voor het buitenklimaat (i.e.: 26,244 unieke simulaties). Voor het buitenklimaat is gebruik gemaakt van KNMI-gegevens voor 3 locaties in Nederland en drie scenario's: het heden, het jaar 2050 in het beperkt risicoverhogende scenario (KNMI-Hd) en het jaar 2050 in het sterk risicoverhogende scenario. Ook zijn voor iedere regio en scenario drie verschillende mate van het stedelijk SHE gesimuleerd: een landelijke situatie (SHE_{max}-0°C), een stedelijke situatie (SHE_{max}-3°C) en een grootstedelijke situatie (SHE_{max}-5°C).



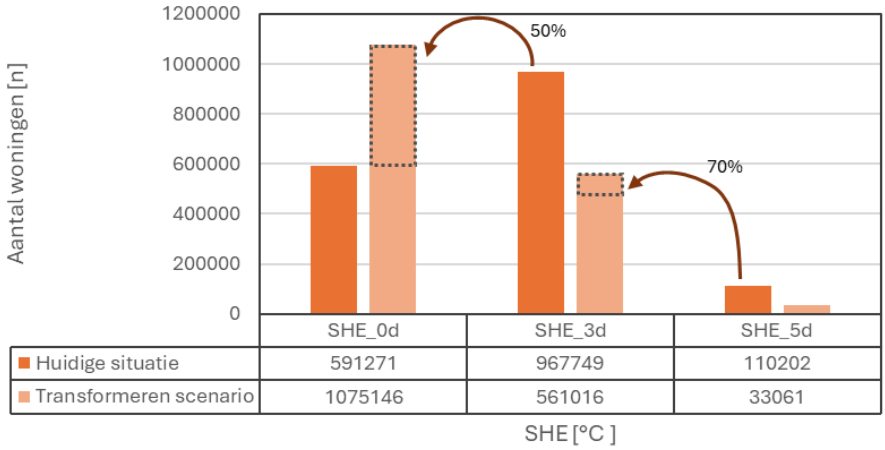
Figuur 6.22 De aspecten die gevarieerd zijn in de simulatiestudie. De groene percentages geven verhoudingsgetallen aan voor het aantal woningen dat een bepaalde eigenschap bezit in het heden. Deze verhoudingsgetallen zijn afkomstig uit inventarisaties die gemaakt zijn door (F. de Vries et al., 2024) en statistische gegevens gerapporteerd door (Kloosterman et al., 2021) en (Ekker, 2021)

Tabel 6.5 Gesimuleerde klimaatvarianten

Contextscenario:		Heden	Beperkt risicoverhogend	Sterk risicoverhogend
KNMI-jaar: / Locatie:	SHE_{max}:	Referentie	2050-Ln (2100-Ln)	2050-Hd
Alkmaar	0°C	Alkmaar-Heden-0°C	Alkmaar-2050Ln-0°C	Alkmaar-2050Hd-0°C
	3°C	Alkmaar-Heden-3°C	Alkmaar-2050Ln-3°C	Alkmaar-2050Hd-3°C
	5°C	Alkmaar-Heden-5°C	Alkmaar-2050Ln-5°C	Alkmaar-2050Hd-5°C
de Bilt	0°C	de Bilt-Heden-0°C	de Bilt-2050Ln-0°C	de Bilt-2050Hd-0°C
	3°C	de Bilt-Heden-3°C	de Bilt-2050Ln-3°C	de Bilt-2050Hd-3°C
	5°C	de Bilt-Heden-5°C	de Bilt-2050Ln-5°C	de Bilt-2050Hd-5°C
Roermond	0°C	Roermond-Heden-0°C	Roermond -2050Ln-0°C	Roermond -2050Hd-0°C
	3°C	Roermond-Heden-3°C	Roermond -2050Ln-3°C	Roermond -2050Hd-3°C
	5°C	Roermond-Heden-5°C	Roermond -2050Ln-5°C	Roermond -2050Hd-5°C

Voor ieder van de gesimuleerde gebouw- en gedragsvarianten is aan de hand van GIS-gegevens een inschatting gemaakt van het aantal woningen waarvoor de variant representatief is. In deze analyse is gebruik gemaakt van de SHE kaart van het RIVM (Figuur 6.6), de kaart 'Aantal tropische dagen (max ≥ 30°C) 2050WH' uit de klimaateffectatlas (Figuur 6.10), bouwjaar, woningtype en geometrische eigenschappen van het gebouw (allen afkomstig uit de basisadministratie gebouwen). Uit de geometrische eigenschappen is afgeleid hoeveel beneden-, tussen- en bovenwoningen het gebouw bevat. Aan de hand van deze gegevens en algemene verhoudingsgetallen is bepaald hoeveel woningen iedere gesimuleerde variant representeert. Sommige aspecten die zeer bepalend zijn voor oververhitting kunnen niet uit GIS-gegevens gehaald worden (e.g.: de aanwezigheid van zonwering is niet geregistreerd in openbare datasets). Hiervoor is gebruik gemaakt van verhoudingsgetallen afkomstig uit inventarisaties die gemaakt zijn door (F. de Vries et al., 2024) en statistische gegevens gerapporteerd door (Kloosterman et al., 2021) en (Ekker, 2021). Deze verhoudingsgetallen zijn aangegeven als groene percentages in Figuur 6.22 en geven het aantal woningen dat een bepaalde eigenschap bezit in het heden. Het toekennen van het regionale klimaat aan een woning is gedaan aan de hand van de kaart met het aantal tropische dagen uit paragraaf 6.4.1 (Alkmaar: de regio 0-6, de Bilt de regio 6-15 en Roermond de regio 15-18). Voor iedere

combinatie van contextscenario en referentiescenario zijn ‘what-if’ analyse uitgevoerd. In deze analyse wordt gekeken naar hoeveel woningen vallen binnen de oververhittingsklassen of hittelabels uit het eerdere ‘NKWK – Hitte in bestaande woningen’ project (paragraaf 6.5.1). De impact van de verschillende adaptatiescenario’s is beoordeeld door het percentage woningen waar maatregelen is uitgevoerd te wijzigen. Bij het transformeren scenario is het aantal woningen dat is blootgesteld aan een verhoogd stedelijk hitte eiland ten opzichte van het heden veranderd (Figuur 6.23). Deze transformatie is qua orde-grootte vergelijkbaar met de transformatie die werd besproken in paragraaf 6.4.2. In deze studie wordt er echter een kleiner aantal SHE-klassen gehanteerd om het aantal simulatie varianten te beperken.
In deze studie is bij het intensiveren adaptatiescenario het aandeel woningen waar in de toekomst gebouw gerelateerde maatregelen genomen worden zo gekozen dat het aantal woning waar een zeer grote mate van oververhitting optreedt ongeveer gelijk blijft aan het heden. De aanname daarbij is dus oververhitting in dezelfde mate als sociaal-maatschappelijk acceptabel gezien wordt als in het heden en dat er maatregelen genomen worden om bij een veranderd klimaat een vergelijkbare situatie te verkrijgen als het geval is in het heden. In de resultaten worden deze aannames verder toegelicht.

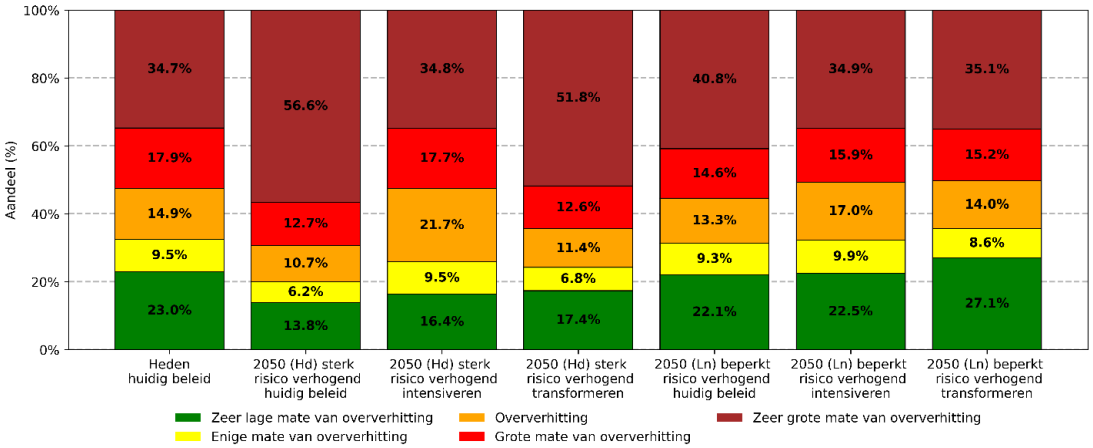


Figuur 6.23 Aantal woningen dat is blootgesteld aan verschillende mate van het stedelijk hitte eiland effect (SHE) in het heden en in het transformeren scenario.

6.6.2 Resultaten van de impactstudie: oververhitting bij de verschillende context- en beleidsscenario’s

Figuur 6.24 toont de impact van alle onderzochte context- en beleidsscenario’s op oververhitting in meersgezinswoningen. In het huidige klimaat is in zo’n 35% van alle meersgezinswoningen sprake van een zeer grote mate van oververhitting. Als er geen aanvullend adaptatie maatregelen beleid wordt gevoerd kan dit in 2050 zijn toegenomen tot 41% in het beperkt risico verhogende context scenario en 57% in het sterk risico verhogende scenario. Om het binnenmilieu in het woningenbestand bij een veranderend klimaat ongeveer gelijk te houden moeten er bij het ‘intensifiëren’ beleid in zo’n 380.000 bestaande meergezinswoningen technische maatregelen genomen worden in het beperkt risico verhogende context scenario. Om ook in het sterk risico verhogende context scenario het binnenmilieu in alle meergezinswoningen van een vergelijkbaar niveau te houden als in het heden zal erin zo’n 1,1 miljoen bestaande woningen technische maatregelen genomen moet worden. Met het aanvullende klimaat adaptatiebeleid volgens de ‘transformeren’ benadering kan de binnenmilieukwaliteit van het meersgezinswoningenbestand alleen gelijk gehouden worden met het heden in het beperkt risico verhogende scenario. In het sterk risico verhogende

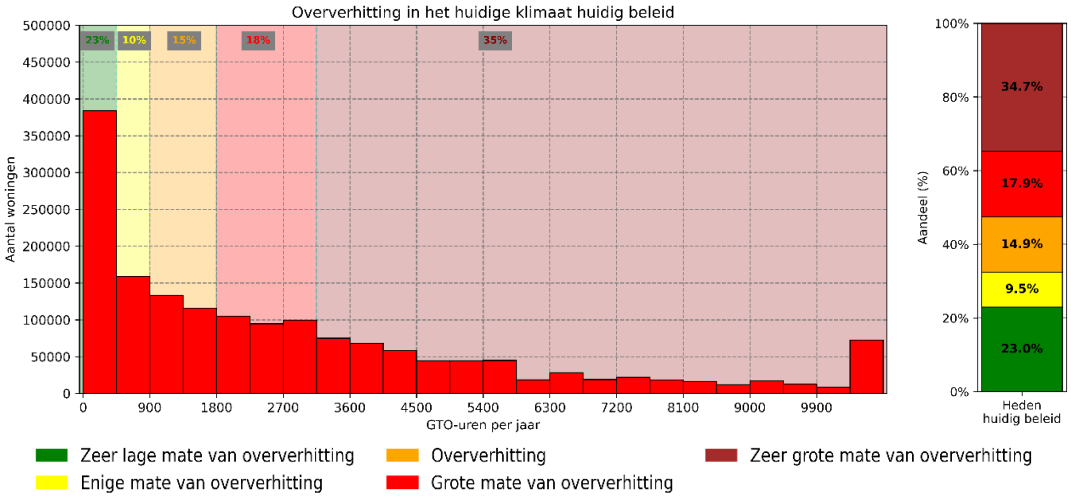
scenario zal met dit type adaptatiemaatregelen het aantal meersgezinswoningen waar sprake is van een zeer grote mate van oververhitting stijgen van 35% in het heden tot 52% in 2050. In de komende paragrafen zullen de resultaten van de individuele scenario's verder toegelicht worden.



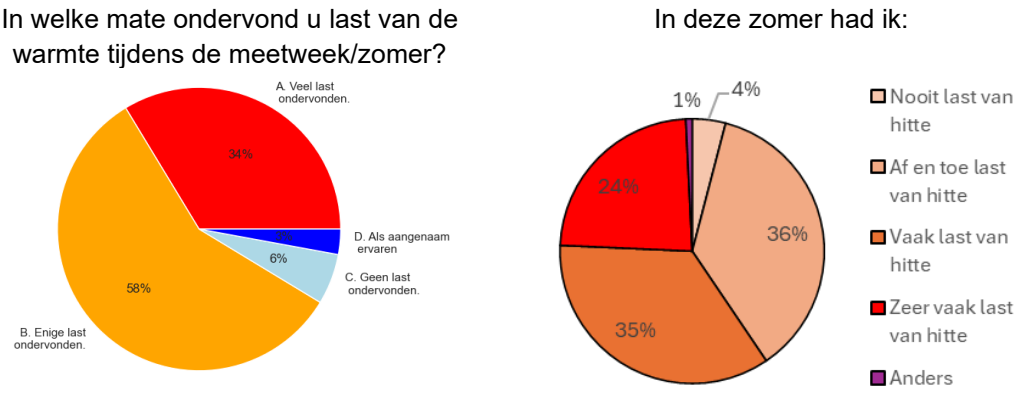
Figuur 6.24 De impact van alle onderzochte context- en beleidsscenario's op oververhitting in meersgezinswoningen.

6.6.3 Oververhitting in het heden (referentiescenario)

Figuur 6.25 toont de mate van oververhitting in het heden in alle meersgezinswoningen in Nederland. Het histogram toont het aantal woningen dat nu een bepaalde mate van oververhitting laat zien, ingedeeld naar de klassen uit Figuur 6.14. Te zien is dat in de huidige situatie er in een aanzienlijk deel van de woonsituaties sprake is van een groot (18%) tot een zeer grote mate (35%) van oververhitting. In de andere helft van de woningen is oververhitting slechts in kleine (23%), matige (10%) of enige (15%) mate aanwezig. De resultaten zijn in overeenstemming met de 24-34% van ondervraagde bewoners die in eerdere enquête onderzoeken aangeven vaak of veel last te hebben van hitte in hun woning (Figuur 6.26).[7]



Figuur 6.25 Histogram met oververhitting in alle huidige Nederlandse meergezinswoningen in het huidige klimaat. In zo'n 35% van de woningen is sprake van zeer grote oververhitting die kan leiden tot grote comfortproblemen. Resultaten zijn representatief voor de 2,804,933 meergezinswoningen in Nederland.



Enquete onder ~60 bewoners (corporatie en enkele koopwoningen)

Enquete onder 1029 bewoners (corporatiewoningen)

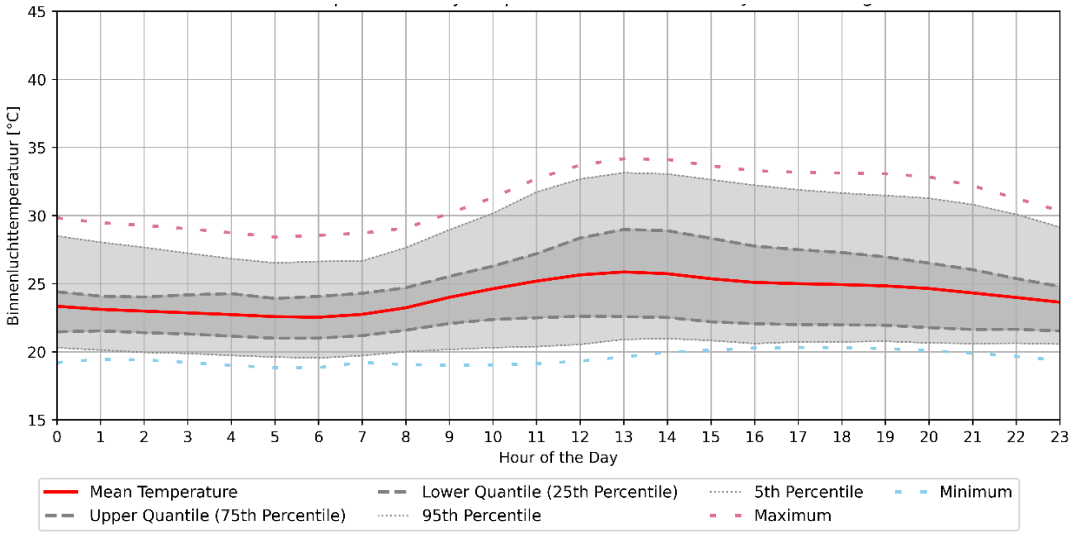
Figuur 6.26 Enquête resultaten uit (F. de Vries et al., 2023). Geven een beeld van het deel van de Nederlandse bewoners dat nu zegt last te hebben van hitte.

[7] Aangezien het woningenbestand van corporaties voornamelijk uit meergezinswoningen is het aannemelijk dat deze enquête voldoende representatief is voor een vergelijking met de resultaten van de simulatiestudie.

De resultaten van de individuele woningvarianten (Bijlage C) geven ook inzicht in welke specifieke combinaties van eigenschappen leiden tot oververhitting in het heden:

- Woningen met een hoge zontoetreding (geen zonwerende maatregelen). Een uitkraging en zonwerend glas zijn gunstig maar kunnen oververhitting niet altijd volledig voorkomen.
- Woningen waar onvoldoende geventileerd wordt (ramen altijd dicht of alleen open in de ochtend/avond)
- Boven woningen. In deze woningen vindt ook zontoetreding door het dak plaats. Vooral bij de oudere slecht geïsoleerde gebouwen presteren de bovenwoningen slechter dan de tussenwoningen.
- Goed geïsoleerde woningen wanneer dit gepaard gaat met ongunstig ventilatiegedrag.

Figuur 6.27 geeft een beeld van wat voor binnentemperaturen kenmerkend zijn voor een vrij gemiddelde woning in het heden waar sprake is van oververhitting. De woning betreft de referentie woning uit 1964 die sterk kan opwarmen gedurende dag omdat zonwerende maatregelen ontbreken. De woning kan echter ook goed afgekoeld worden door s ‘nachts ramen te openen. De woning is gevoelig voor oververhitting maar betreft niet de meest ongunstige situatie. De temperatuurverdelingsgrafiek laat zien dat tijdens de helft van de dagen in de drie zomer maanden (rode lijn) de temperatuur in de woning overdag boven de 26°C en s ’nachts nog 23-24°C is. Zo’n 18 dagen in deze warme zomer is het zeer warm met een maximale temperatuur van boven de 30°C een nachtelijke temperatuur van boven de 25°C (deze temperaturen bevinden zich rond de donkergrijze 75e percentiel lijn).

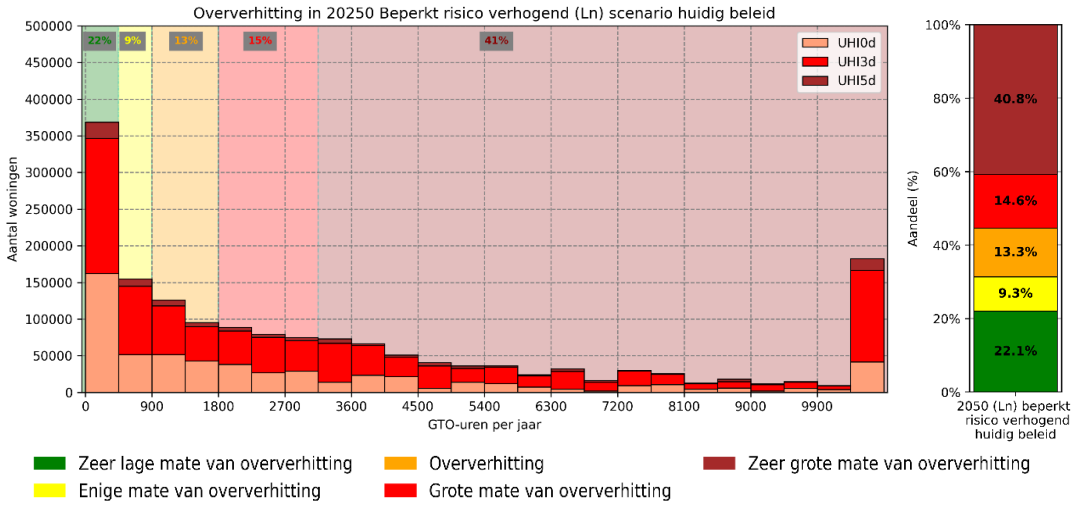


Figuur 6.27 Verdelingsgrafiek die de binnen luchttemperatuur in een appartement toont over de periode juni-augustus in het huidige klimaat van de Bilt. In de woning is sprake van oververhitting met binnen luchttemperaturen van boven de 26°C voor de helft van de zomerse dagen. De woning heeft 2677 GTO-uren over de gehele zomer.

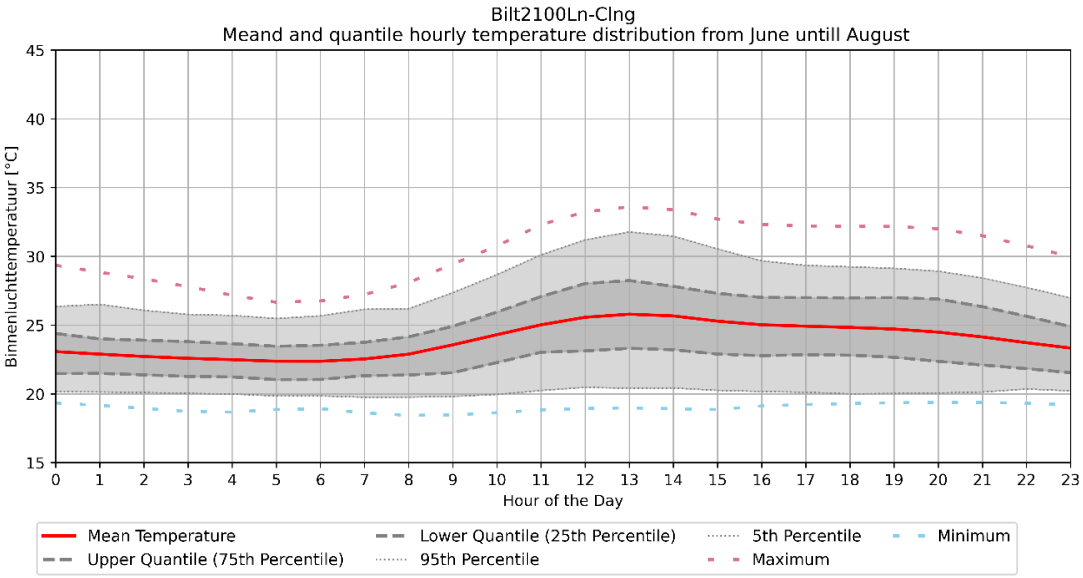
6.6.4 Impact bij contextscenario ‘beperkt risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘huidig beleid’

Figuur 6.28 laat zien wat er met het huidige beleid gebeurt in het beperkt risico verhogende scenario. In dit scenario blijven de kenmerken van de gebouwde omgeving gelijk aan het heden. Wel is er uitgegaan van enige gedragsmatige adaptatie door bewoners waarbij de helft

van de bewoners die voorheen het meest ongunstige spuigedrag vertoonden nu op een effectievere manier hun huis ventileren. Het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting neemt in dit scenario toe van 35% in het heden naar 41% in 2050. Deze woningen lijken vooral afkomstig uit het segment woningen waar in het heden ook al sprake is van grote oververhitting. Het aandeel woning dat goed presteert (zeer lage of enige oververhitting) blijft nagenoeg constant (gaat van 33% in het heden naar 31% in 2050). Het histogram toont nu ook een opdeling van de woningen naar mate van het stedelijk hitte eiland effect (aangeduid als UHI0d, UHI3d en UHI5d). Deze opdeling wordt getoond om in de andere beleidsscenario's te laten zien wat er gebeurt als men ingrijpt en het aandeel woningen met een hoog stedelijk hitte eiland verandert. Te zien is dat met het huidige beleid woningen met een groter stedelijk hitte eiland effect (UHI3d en UHI5d) verhoudingsgewijs vaker voorkomen bij de situaties met hogere GTO-uren.
De beperkte toename in temperatuur in dit scenario is ook te zien in de temperatuurverdelingsgrafiek van de referentie woning in 2050 in het beperkte risico verhogende scenario (Figuur 6.29). De extremen temperaturen in die woning zijn vergelijkbaar met het heden en vooral het aantal matige warme dagen (23-24°C) lijkt te zijn toegenomen.



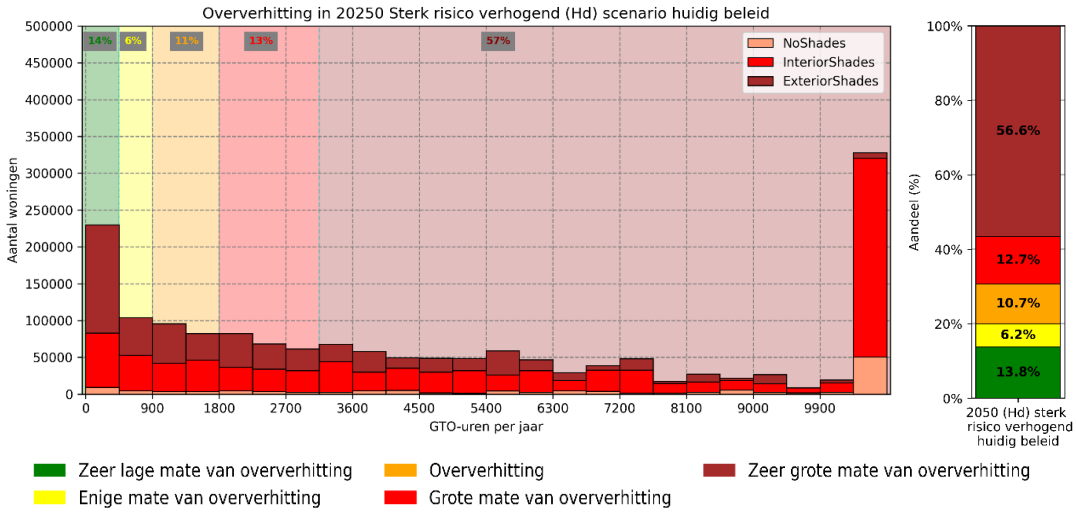
Figuur 6.28 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het beperkt risico verhogende scenario (2050Ln). Het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting is toegenomen van 35% in het heden naar 41% in 2050.



Figuur 6.29 Temperatuur verdelingsgrafiek voor dezelfde woning uit Figuur 6.27 maar nu in 2050 in het beperkt risico verhogende klimaat. De extremen zijn vergelijkbaar met het heden maar het aantal matige warmte dagen (23-24°C) is iets toegenomen. De woning heeft 3197 GTO-uren over de gehele zomer.

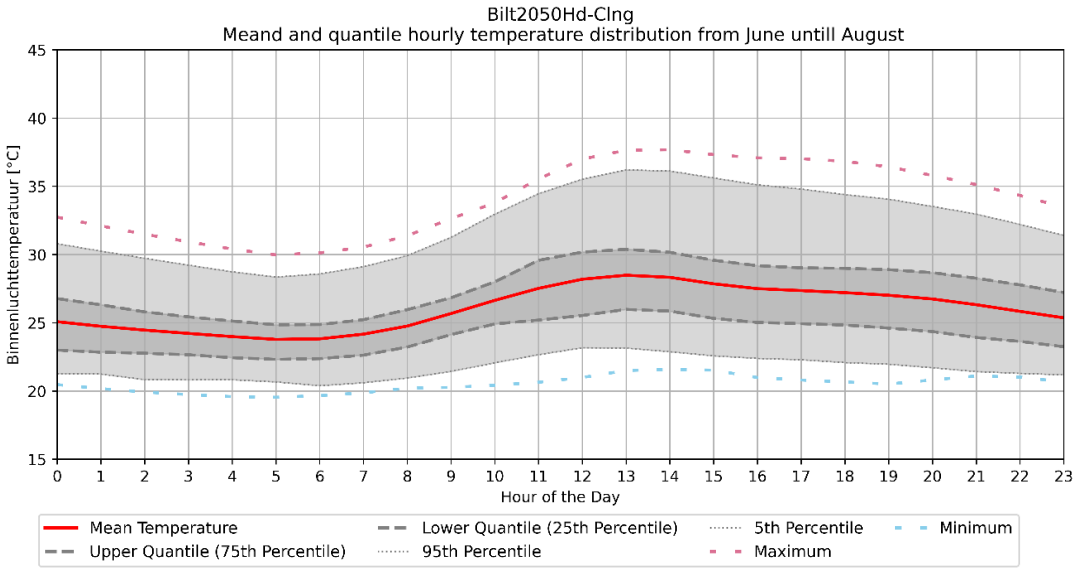
6.6.5 Impact bij contextscenario ‘sterk risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘huidig beleid’

Figuur 6.30 laat zien wat er met het huidige beleid gebeurt in het sterk risico verhogende scenario. Ook hier is uitgegaan van dezelfde kenmerken van de gebouwde omgeving als in het heden en is er uitsluitend uitgegaan van enige gedragsmatige aanpassing door bewoners. Het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting neemt in dit scenario sterk toe van 35% in het heden naar 57% in 2050. Het totale aantal woningen waar geen sprake is van oververhitting is ook substantieel afgenomen van 31% naar 20% in 2050. Het histogram toont nu ook een opdeling van de woningen naar het type zonwering waar de woning mee is uitgerust. Te zien is dat woningen met buitenzonwering veelal beter beschermd zijn tegen oververhitting. Enkele woningen hebben ook met buitenzonwering nog problemen met oververhitting. Dit zijn met name woningen waar niet goed geventileerd wordt en bovenwoningen waar zontoetreding door de dakhuid voor opwarming zorgt.



Figuur 6.30 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het sterk risico verhogende scenario (2050Hd). Het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting is toegenomen van 35% in het heden naar 57% in 2050.

De sterke toename in temperatuur in dit scenario is terug te zien in de temperatuurverdelingsgrafiek van de referentie woning in 2050 (Figuur 6.31). In 2050 komt tijdens de helft van de dagen in de drie zomer maanden (rode lijn) de temperatuur in de woning overdag boven de 28°C en s ’nachts boven de 25°C. Zo’n 23 dagen in deze warme zomer is het zeer warm met een maximale temperatuur van boven de 30°C. Op de meest extreme dagen wordt het maximaal 35-37°C en is ook s ’nachts de temperatuur boven de 30°C in de woning. De situatie in de toekomst betreft een woning comfortkwaliteit die dusdanig slecht is in de zomer dat de woonkwaliteit van de woning ter discussie gesteld worden.



Figuur 6.31 Temperatuur verdelingsgrafiek voor dezelfde woning uit Figuur 6.27 maar nu in 2050 in het sterk risico verhogende klimaat. Zowel het gemiddelde als de extremen zijn sterk toegenomen. De helft van de zomerse dagen is de temperatuur binnen overdag boven de 27-28°C en ook om middernacht nog boven de 25°C. Op extreem warme dagen kan het 35°C worden in de woning. De woning heeft 5109 GTO-uren over de gehele zomer.

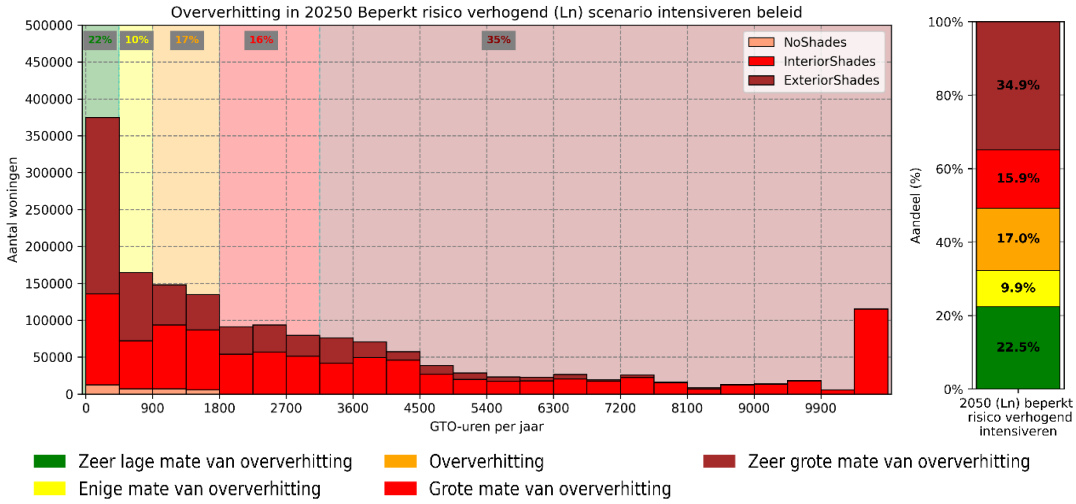
6.6.6 Impact bij contextscenario ‘beperkt risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘intensiveren’

Figuur 6.32 toont de mate van oververhitting in het beperkt risico verhogend contextscenario in combinatie met het ‘intensiveren’ adaptatiescenario waarbij er vooral wordt ingezet op technische adaptatiemaatregelen. Ook hier is uitgegaan van dezelfde mate van gedragsmatige adaptatie als bij het huidige beleidsscenario. Het maatregelenpakket binnen het ‘intensiveren’ scenario is zo gekozen dat de comfortprestaties van alle woningen tezamen in 2050 in het beperkt risico verhogende contextscenario ongeveer gelijk blijft aan de situatie in het heden (~35% woningen met een zeer grote mate van oververhitting).

Tabel 6.6 geeft een overzicht van de maatregelen die nodig zijn om in dit scenario de kwaliteit van het binnenmilieu in alle Nederlandse meergezinswoningen verhoudingsgewijs ongeveer gelijk te houden aan de situatie in het heden. De maatregelen uit deze tabel zijn toegepast door een aantal woningen in de dataset die horen bij een bepaald gesimuleerd type woning (bijv. 7% van alle woningen zonder buitenzonwering) te verschuiven naar een ander type gesimuleerd type woning (bijv. hetzelfde type met zonwering). De maatregelen zijn achtereenvolgens toegepast waarbij er steeds met de resterende aantallen woningen waar nog oververhitting plaatsvindt wordt doorgewerkt. Om de comfortprestaties van alle woningen tezamen gelijk te houden met die in het heden moeten er in dit scenario in ongeveer zo’n 460.000 adaptatie maatregelen genomen worden in zo’n 380.000 bestaande woningen[8], bestaande uit zonwering (in 8% van alle bestaande gebouwen), zonwerend glas (15%), dakisolatie (3%) en ventilatiemaatregelen (1%). Bij ventilatiemaatregelen kan gedacht worden aan ingrepen als het installeren van horren, inbraakwering en zomernachtventilatieluiken

[8] In de meeste gevallen moeten er meerdere maatregelen genomen worden in één enkele woning zoals bijvoorbeeld én buitenzonwering en een ventilatievoorziening als een hor.

waardoor bewoners ook s 'nachts de woning kunnen spuien zonder risico op inbraak, insecten of lawaai.



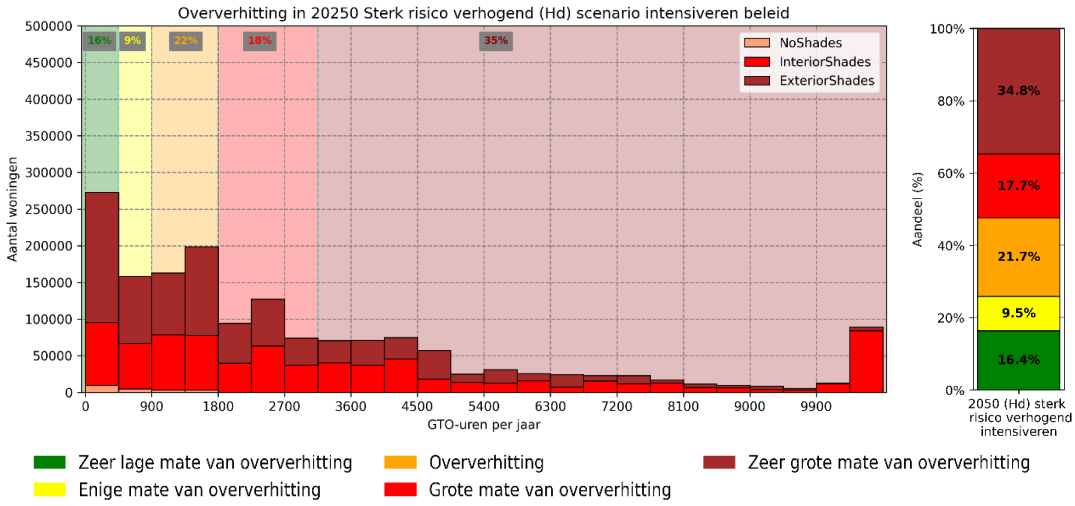
Figuur 6.32 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het beperkt risico verhogende scenario (2050Ln). Door de technische maatregelen in het intensiveren beleid wordt het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting (35%) gelijk gehouden aan het heden.

Tabel 6.6 Maatregelenpakket tegen hittestress in het 'intensiveren' beleidsscenario afgestemd op het beperkt risico verhogende contextscenario. Het totale aantal aangepaste gebouwen is lager dan de optelling van de afzonderlijke maatregelen omdat er in sommige woningen meerdere maatregelen genomen worden.

Maatregel	Aantal	Aandeel
Totaal zonwering:	129219	8%
Pas binnenzonwering toe bij 100% van de woning die nu geen zonwering hebben maar wel oververhitting (1800<GTO)	99951	6%
Pas buitenzonwering toe bij 7% van de woning die nu geen buitenzonwering hebben maar wel zeer hoge oververhitting (4500<GTO)	29269	2%
Totaal zonwerend glas:	252620	15%
Pas zonwerend glas toe bij 15% van de woningen met dubbelglas en matige oververhitting (1800<GTO<4500)	11513	1%
Pas zonwerend glas toe bij 20% van de woningen met HR++ en matige oververhitting (1800<GTO<4500)	74015	4%
Pas zonwerend glas toe bij 25% van de woningen met dubbelglas en sterke oververhitting (4500<GTO)	18466	1%
Pas zonwerend glas toe bij 40% van de woningen met HR++ en sterke oververhitting (4500<GTO)	148625	9%
Totaal dakisolatie:	56774	3%
Isoleer dak bij 20% van de bovenwoningen van voor 1994 en oververhitting (1800<GTO)	37457	2%
Isoleer dak bij 20% van de bovenwoningen van 1994-2014 en oververhitting (1800<GTO)	19317	1%
Totaal ventilatiemaatregelen:	20365	1%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 3% van de woningen waar nu de ramen nooit geopend worden.	5008	0%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 2% van de woningen waar nu de ramen alleen overdag geopend worden.	3505	0%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 2% van de woningen waar nu de ramen alleen s 'ochtends en s 'avonds geopend worden.	11851	1%
Totaal aantal adaptatie maatregelen:	458978	
Totaal aangepaste gebouwen:	378594	23%

6.6.7 Impact bij contextscenario ‘sterk risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘intensiveren’

Figuur 6.33 toont de mate van oververhitting in het sterk risico verhogend contextscenario in combinatie met het ‘intensiveren’ adaptatiescenario waarbij er vooral wordt ingezet op technische adaptatiemaatregelen. Weer is het maatregelenpakket binnen het ‘intensiveren’ scenario zo gekozen dat de comfortprestaties van alle woningen tezamen in 2050 ongeveer gelijk blijft aan de situatie in het heden (~35% woningen met een zeer grote mate van oververhitting). Bij het sterk risico verhogende scenario moeten er op zeer grote schaal maatregelen genomen worden om de binnentemperatuur in alle Nederlandse meergezinswoningen verhoudingsgewijs ongeveer gelijk te houden aan de situatie in het heden. Tabel 6.7 laat zien dat hiervoor 1,5 miljoen kleine- en grotere adapatiemaatregelen genomen moeten worden in zo’n 1,1 miljoen bestaande Nederlandse woningen. De duurdere en ingrijpende maatregelen omvatten: het uitrusten van 14% van alle Nederlandse meersgezinswoningen met buitenzonwering, het plaatsen van (extra) dakisolatie bij 17% van alle meersgezinswoningen, het vervangen van de beglazing met zonwerend glas[9] bij 42% van alle meersgezinswoningen, en het plaatsen van zomernachtventilatieluiken in 8% van alle woningen. De goedkopere maatregelen omvatten: het uitrusten van 7% van alle woningen binnenzonwering, en het voorzien van 9% met ventilatievoorzieningen als horren en hang- en sluitwerk.



Figuur 6.33 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het sterk risico verhogende scenario (2050Hd). Door de technische maatregelen in het ‘intensiveren’ beleid wordt het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting (35%) gelijk gehouden aan het heden.

[9] Als het vervangen van het glas gebeurt op een natuurlijk moment (wanneer het glas toch vervangen moet worden) leidt zonwerend glas slechts zeer beperkte meerkosten t.o.v. HR++ glas. Bestaand HR++ glas heeft een levensduur van 25-30 jaar dus deze maatregel zal slechts soms op een natuurlijk moment plaatsvinden.

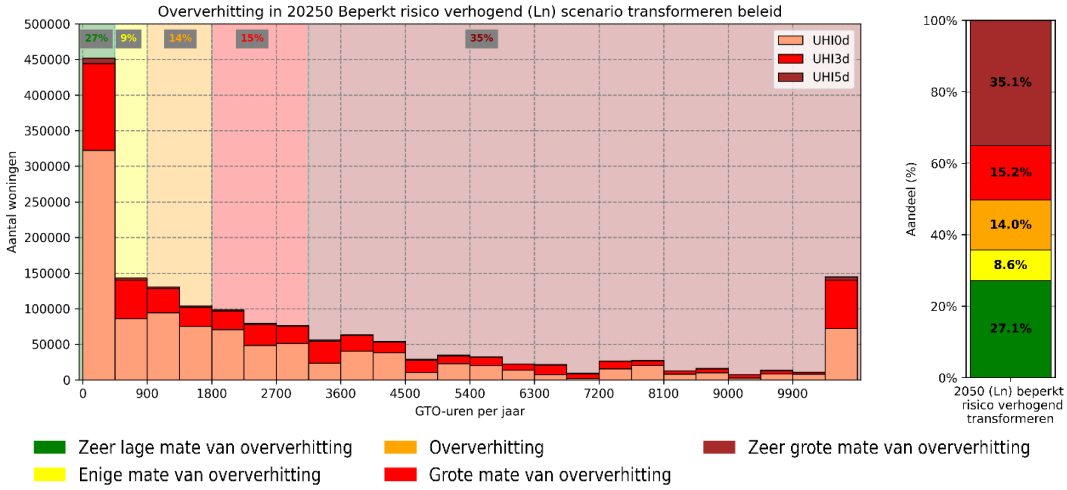
Maatregel	Aantal	Aandeel
Totaal zonwering:	352610	21%
Pas binnenzonwering toe bij 100% van de woning die nu geen zonwering hebben maar wel oververhitting (1800<GTO)	111867	7%
Pas buitenzonwering toe bij 40% van de woning die nu geen buitenzonwering hebben maar wel zeer hoge oververhitting (4500<GTO)	240743	14%
Totaal zonwerend glas:	699713	42%
Pas zonwerend glas toe bij 50% van de woningen met dubbelglas en matige oververhitting (1800<GTO<4500)	41514	2%
Pas zonwerend glas toe bij 50% van de woningen met HR++ en matige oververhitting (1800<GTO<4500)	199250	12%
Pas zonwerend glas toe bij 75% van de woningen met dubbelglas en sterke oververhitting (4500<GTO)	75350	5%
Pas zonwerend glas toe bij 75% van de woningen met HR++ en sterke oververhitting (4500<GTO)	383598	23%
Totaal dakisolatie:	178133	11%
Isoleer dak bij 50% van de bovenwoningen van voor 1994 met oververhitting (1800<GTO)	99516	6%
Isoleer dak bij 70% van de bovenwoningen van 1994-2014 met oververhitting (1800<GTO)	78617	5%
Totaal ventilatiemaatregelen:	280429	17%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 30% van de woningen waar nu de ramen nooit geopend worden.	50077	3%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 30% van de woningen waar nu de ramen alleen overdag geopend worden.	52580	3%
Pas spuimaatregelen toe (horren, inbraakwering, zomernachtventilatieluiken) bij 30% van de woningen waar nu de ramen alleen s ‘ochtends en s ‘avonds geopend worden.	177772	11%
Totaal aantal adaptatie maatregelen	1510885	
Totaal aantal woningen:	1129681	68%

Tabel 6.7 Maatregelenpakket tegen hittestress in het ‘intensiveren’ beleidsscenario afgestemd op het sterk risico verhogende contextscenario. Het totale aantal aangepaste gebouwen is lager dan de optelling van de afzonderlijke maatregelen omdat er in sommige woningen meerdere maatregelen genomen worden.

6.6.8 Impact bij contextscenario ‘beperkt risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘transformeren’

Figuur 6.34 toont de mate van oververhitting in het beperkt risico verhogend contextscenario in combinatie met het ‘transformeren’ adaptatiescenario waarbij er vooral wordt ingezet op de ruimtelijk gerichte maatregelen uit Tabel 6.1 die het stedelijk hitte eiland verlagen. In dit scenario wordt er van uit gegaan dat het stedelijk hitte eiland effect op veel plekken in Nederland substantieel verlaagd kan worden door grootschalige toepassing van de maatregelen uit Tabel 6.1 (meer groen en reflecterend stedelijk oppervlak, meer bomen en stedelijke waterpartijen). Het gegareerde effect van al deze maatregelen is in deze impactstudie benaderd door het aantal woningen dat is blootgesteld aan een hoog stedelijk hitte eiland te verlagen en het aantal woningen met een laag of geen stedelijk hitte eiland te verhogen op een vergelijkbare wijze als in Figuur 6.11 waarbij bij 70% van alle woningen met SHE_{max}-5°C de blootstelling verlaagd is naar SHE_{max}-3°C en bij 50% van alle woningen met SHE_{max}-3°C verlaagd is naar SHE_{max}-0°C (Tabel 6.8). Daarnaast is in het beleidsscenario ‘transformeren’ ook uitgegaan dat er op grote schaal bomen in stedelijke gebieden worden bij geplant die voor beschaduwing zorgen bij benedenwoningen en laag gelagen tussenwoningen.

Dit is gemodelleerd door 50% van alle beneden woningen, en 10% van de tussenwoningen uit de beschaduwde klasse te verplaatsen naar de beschaduwde klasse[10].
In Figuur 6.34 is te zien dat door de maatregelen in het transformeren scenario de comfortprestaties van alle meergezinswoningen ook in 2050 gelijk gehouden kan worden met het heden. In tegenstelling tot de technische gebouw gerelateerde maatregelen in het 'intensiveren' scenario worden de maatregelen in het 'transfomeren' scenario op wijkniveau toegepast a.d.v. de huidige SHE-blootstelling van de woning. Wijken met een hoog SHE bevatten zowel woningen waar oververhitting voorkomt als woningen waarvoor dit in mindere mate geldt. Omdat de verlaging het SHE ook woningen ten goede komt die in het heden al goed presteren is te zien dat het aandeel woningen zonder oververhitting toeneemt van 22% in het heden naar 27% in 2050 bij dit scenario. Het histogram laat ook zien dat het verlagen van het SHE niet altijd voldoende is om oververhitting in een woning te voorkomen. Ook onder de woningen met SHE_{max}-0°C (equivalent aan een landelijke omgeving) bevinden zich nog een groot aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting.



Figuur 6.34 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het beperkt risico verhogende scenario (2050Ln). Door maatregelen gericht op het vergroenen van de openbare ruimte in het 'transformeren' beleid wordt het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting (35%) gelijk gehouden aan het heden.

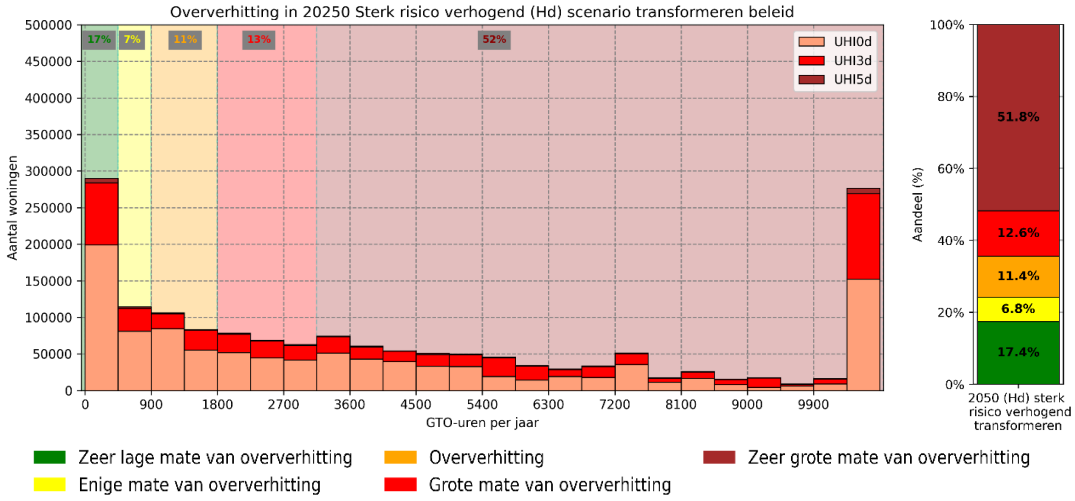
Tabel 6.8 Maatregelenpakket tegen hittestress in het 'transformeren' beleidsscenario afgestemd op het beperkt risico verhogende contextscenario.

Maatregel	Aantal	Aandeel
Het reduceren van het stedelijk hitte eiland effect (vergroenen, verlagen albedo, etc.)		
Het reduceren van het stedelijk hitte eiland van SHE_{max}-3°C naar SHE_{max}-0°C voor 50% van alle woningen met SHE_{max}-3°C.	483,875	29%
Het reduceren van het stedelijk hitte eiland van SHE_{max}-5°C naar SHE_{max}-3°C voor 70% van alle woningen met SHE_{max}-5°C.	77,141	5%
Het reduceren van zontoetreding binnen gebouwen door het plaatsen van bomen bij 50% van de benedenwoningen die nu geen beschaduwing hebben		
Schaduw door bomen bij 50% van de benedenwoning die nu een hoge zontoetreding hebben	104,367	6%
Schaduw door bomen bij 50% van de benedenwoning die nu een matige zontoetreding hebben	52,183	3%
Enige schaduw door bomen bij 10% van de tussenwoningen die nu een hoge zontoetreding hebben	-	-
Totaal unieke maatregelen:	717,566	43%

[10] Beschaduwing is hier gesimuleerd als een klein overstek en niet als een meer verticaal beschaduwende boom. De resultaten uit de eerdere studie in **Figuur 6.18** laten echter zien dat het effect van deze twee maatregelen qua orde grootte vergelijkbaar is.

6.6.9 Impact bij contextscenario ‘sterk risicoverhogend’ en adaptatiescenario ‘transformeren’

Figuur 6.35 laat het effect van de adaptatie maatregelen in het transformeren beleidsscenario zien in het ster risico verhogende contextscenario. De gebiedsgerichte maatregelen in het transformeren scenario helpen de buitenlucht temperatuur te verlagen en zorgen zo indirect voor minder opwarming binnen in woningen. Met dit type maatregel kan oververhitting binnen niet altijd volledig worden voorkomen. In gevallen waar oververhitting wordt veroorzaakt door een hoge zontoetreding (door ramen of het dak) en een gebrek aan mogelijkheden om de woning voldoende te spuien kan oververhitting binnen alleen volledig worden verholpen door technische maatregelen in de woning zelf. In het sterk risico verhogende scenario is de mate van klimaatopwarming dusdanig hoog dat het niet mogelijk is om met het soort maatregelen uit het ‘transformeren’ scenario de binnenmilieuprestaties in 2050 op hetzelfde niveau te krijgen als in het heden. Bij het sterk risico verhogende scenario zijn deze maatregelen daarom in dezelfde mate toegepast als in het beperkt risico verhogende scenario (Tabel 6.8). In Figuur 6.35 is te zien dat in dit scenario het aandeel woningen met een zeer grote mate van oververhitting zal toenemen van 35% in het heden naar 52% in 2050. Het ‘transformeren’ beleid leidt daarmee tot slechts een beperkte verbetering ten opzichte van het huidige beleid als het aankomt op de binnen luchttemperatuur in woningen. Het is belangrijk om te benadrukken dat de maatregelen in het transformeren scenario wel voor een grotere verbetering zullen zorgen in het buitenklimaat en daarmee hittestress buiten.



Figuur 6.35 Histogram met oververhitting in alle Nederlandse meergezinswoningen in 2050 in het beperkt risico verhogende scenario (2050Hd). Door de maatregelen gericht op het vergroenen van de openbare ruimte in het ‘transformeren’ beleid wordt het aantal woningen met een zeer grote mate van oververhitting (52%) verbeterd ten op zichten van het ‘huidige beleid’ (57%) maar er vindt er alsnog een flinke toename plaats t.o.v. het heden (35%).

7 Sociaaleconomische analyse

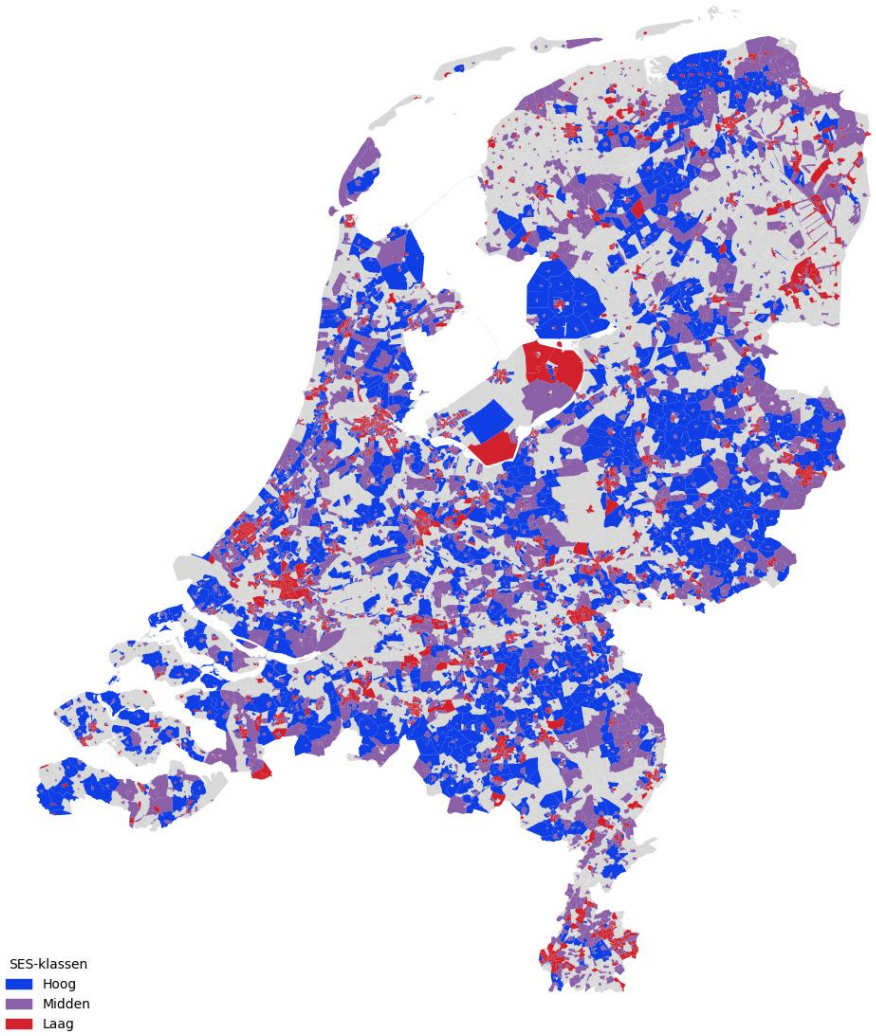
Op hoofdlijnen:

- Een lage sociaaleconomische status en blootstelling aan verschillende klimaatrisico's kruisen elkaar in grote steden en enkele perifere regio's (Oost-Drenthe/Groningen en Zuid-Limburg).
- Beschouw sociaaleconomische status en sociaal-culturele effecten in samenhang. Een samenspel van beide factoren beïnvloed namelijk de welwillendheid van mensen om adaptatiemaatregelen te nemen.
- Kijk bij woningbouw ook naar de economische baten van een plek. Die liggen vaak hoger in dichtbevolkte steden dan op plekken waar nog geen woningen zijn gebouwd. Zelfs na correctie voor extra investeringen in klimaatadaptatie.
- Denk na over de kostenverdeling van de adaptatiemaatregelen. Er ontstaat een discrepantie tussen de kosten en baten verdeeld over verschillende partijen (korte termijn tastbare kosten versus lange termijn indirecte baten).

7.1 Sociaaleconomische ongelijkheid

Sociaaleconomische ongelijkheid is niet willekeurig verdeeld, maar veelal een gevolg van ruimtelijke kenmerken. Door verschillen in de lokale economische dynamiek en sectorstructuur groeien sommige regio's harder dan andere. Sommige regio's hebben zelfs te maken met structurele krimp (Rodríguez-Pose, 2018). Ook in Nederland zien we deze verschillen op bepaalde plekken, wat zich uit in de clustering van lage inkomens en het wegtrekken van jongen mensen, en soms zelfs wantrouwen tegenover de politiek (De Lange et al., 2023).

Ruimtelijke sociaaleconomische ongelijkheid is door het CBS in kaart gebracht. Het CBS publiceert informatie over de sociaaleconomische status (SES) op wijk- en buurtniveau. De SES-score is een indicator die bestaat uit de welvaart, het opleidingsniveau en de arbeidsstatus van een persoon. Voor heel Nederland is de SES-score gemiddeld 0. Een hogere score betekent dus dat de inwoners in het gebied gemiddeld welvarender en/of hoger opgeleid en/of langduriger aan het werk zijn (CBS, 2025). Figuur 7.1 geeft de ruimtelijke verdeling in SES-klassen weer op buurtniveau in Nederland. We zien voornamelijk een lage SES-score in bepaalde wijken in de grote steden en in de periferie van Nederland. Een midden SES-score zien we door heel Nederland voorkomen, net zoals een hoge score. We gebruiken deze score als onderlegger voor de klimaatrisico's bodemdaling en acute wateroverlast door piekbuien om te zien hoe de SES zich tot deze risico's verhoudt.



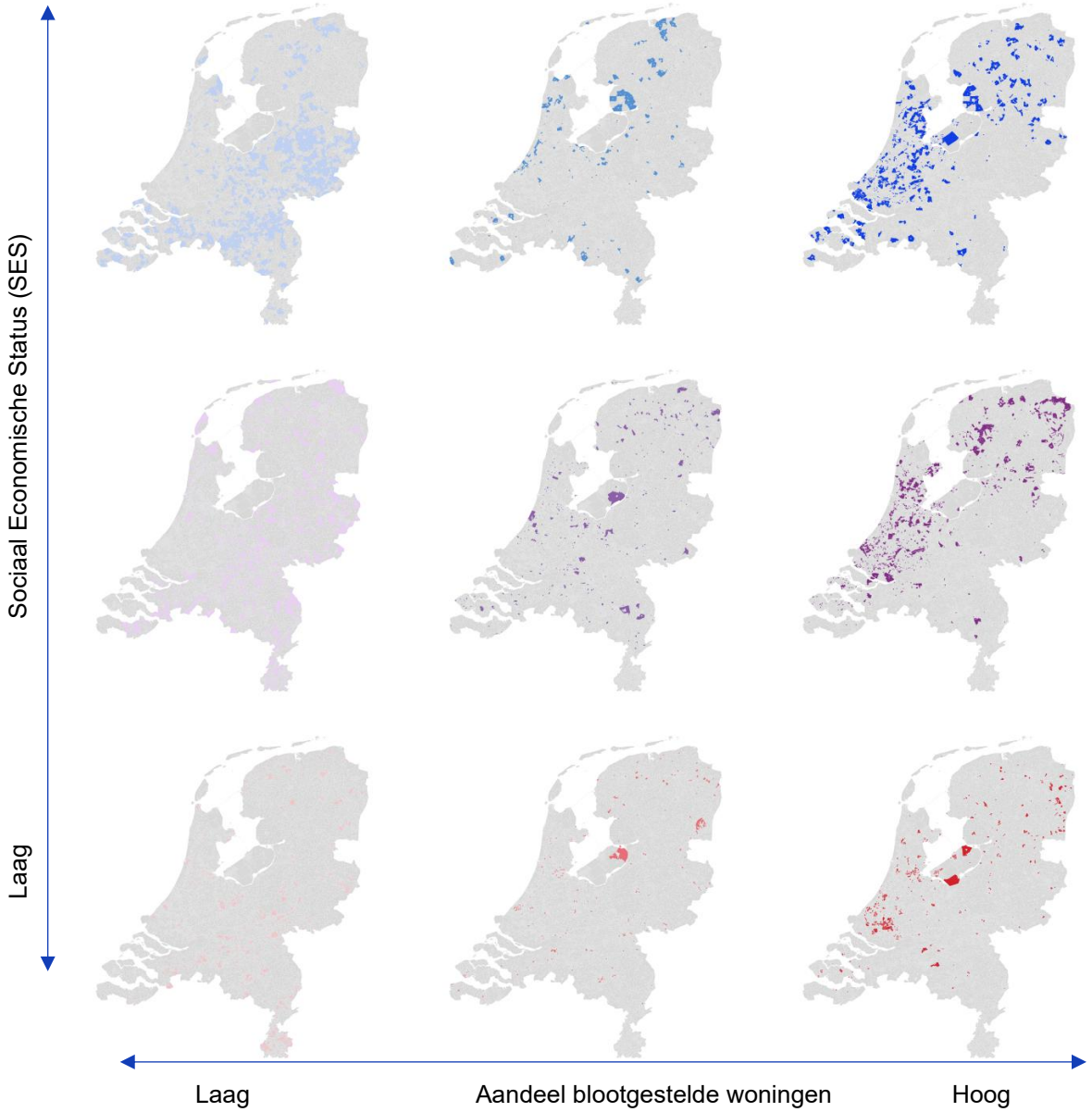
Figuur 7.1. SES-klassen op buurtniveau in 2024 (o.b.v. data CBS).

7.1.1 SES en bodemdaling

Om de SES-scores zinvol te kunnen kruisen met de blootstelling aan klimaatrisico's hebben we drie categorieën gemaakt. Voor de SES-scores hebben we gekozen voor een score kleiner dan 0 (wat onder het gemiddelde van Nederland is), tussen 0 en 0,17 (wat we als iets boven gemiddeld beschouwen) en groter dan 0,17 (een hoge SES-score). Er is voor 0.17 als omslagpunt gekozen omdat dit het 75^{e} percentiel is. Voor het aantal getroffen gebouwen kiezen we ook voor drie categorieën: <1%, 1-10% en >10% (geclassificeerd als laag, midden en hoog). Het is hierbij belangrijk om op te merken dat blootgesteld niet betekent dat er ook daadwerkelijk schade zal plaatsvinden. We weten niet zeker wat voor schade er zou kunnen plaatsvinden. Voor woningen gebouwd vóór 1970 kan dit funderingsschade betreffen, maar voor nieuwere woningen gaat dit eerder om schade op het perceel en in de openbare ruimte van de buurt.

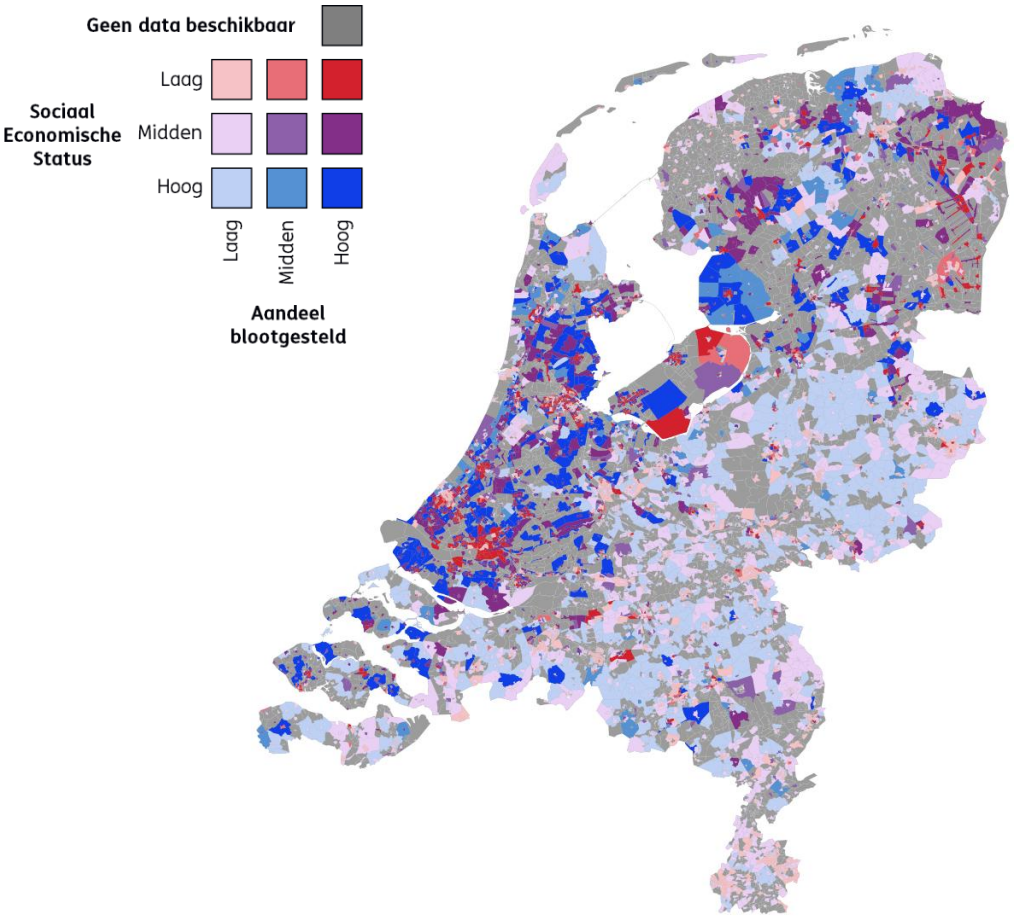
Figuur 7.2 laat negen verschillende kaarten zien. De grootste potentiële problemen ontstaan in buurten met een lage SES-score en een hoge blootstelling aan bodemdaling. Deze buurten bevinden zich voornamelijk in de grote steden in de Randstad en in Oost-Groningen. Het betreft

7,4% van alle buurten in Nederland (zoals te zien in Tabel 7.1). Van 32,3% van de buurten in Nederland geen informatie bekend over de SES-score. Dit zijn voornamelijk de buurten met weinig inwoners. Overigens sluit dat niet uit dat dit geringe aantal inwoners niet in de problemen zou kunnen komen.



Figuur 7.2. Aandeel aan bodemdaling blootgestelde woningen en sociaaleconomische status op buurtniveau bij een mild klimaatscenario tussen 2020 en 2050.

Anderzijds bestaan er ook veel buurten met een hoge SES-score en een hoge blootstelling (5,0% van alle buurten in Nederland). Deze gebieden bevinden zich vooral in het westen en noorden van het land. Hier kunnen potentieel problemen ontstaan bij de woningen en in de omgeving, maar de inwoners hebben mogelijk meer financiële middelen en kennis om maatregelen te nemen. Figuur 7.3 geeft de stapeling van de verschillende categorieën in één kaart weer.



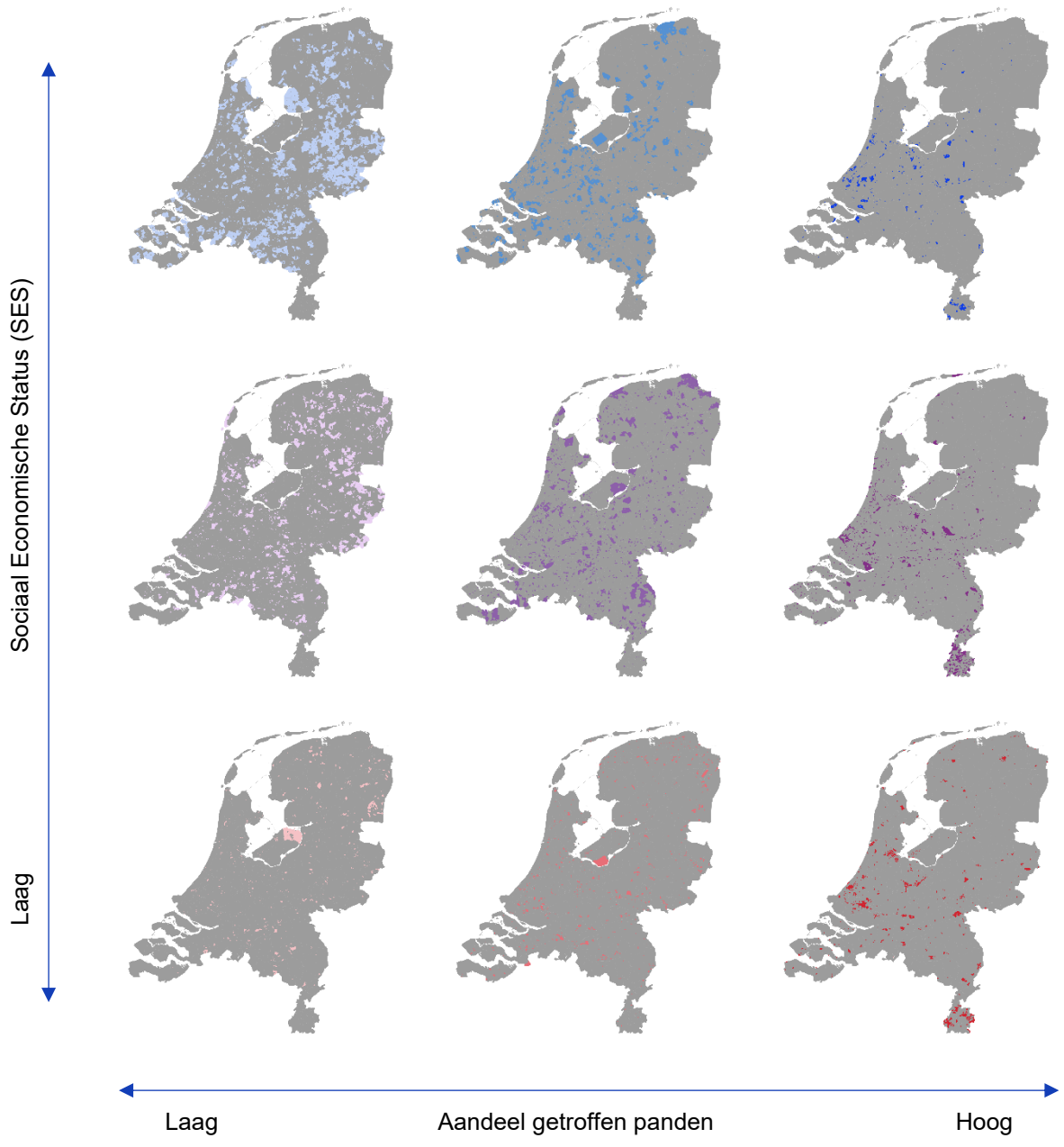
Figuur 7.3. Sociaaleconomische status en blootstelling aan bodemdaling op buurtniveau (mild klimaatscenario tot 2050).

Tabel 7.1. Statistieken SES en buurten bodemdaling.

SES-score	Aandeel blootgestelde woningen	Aantal buurten	% buurten
Hoog	Laag	1333	9,1
Hoog	Midden	227	1,6
Hoog	Hoog	724	5,0
Midden	Laag	2473	17,0
Midden	Midden	469	3,2
Midden	Hoog	1375	9,4
Laag	Laag	1815	12,5
Laag	Midden	379	2,6
Laag	Hoog	1075	7,4
NA	NA	4704	32,3

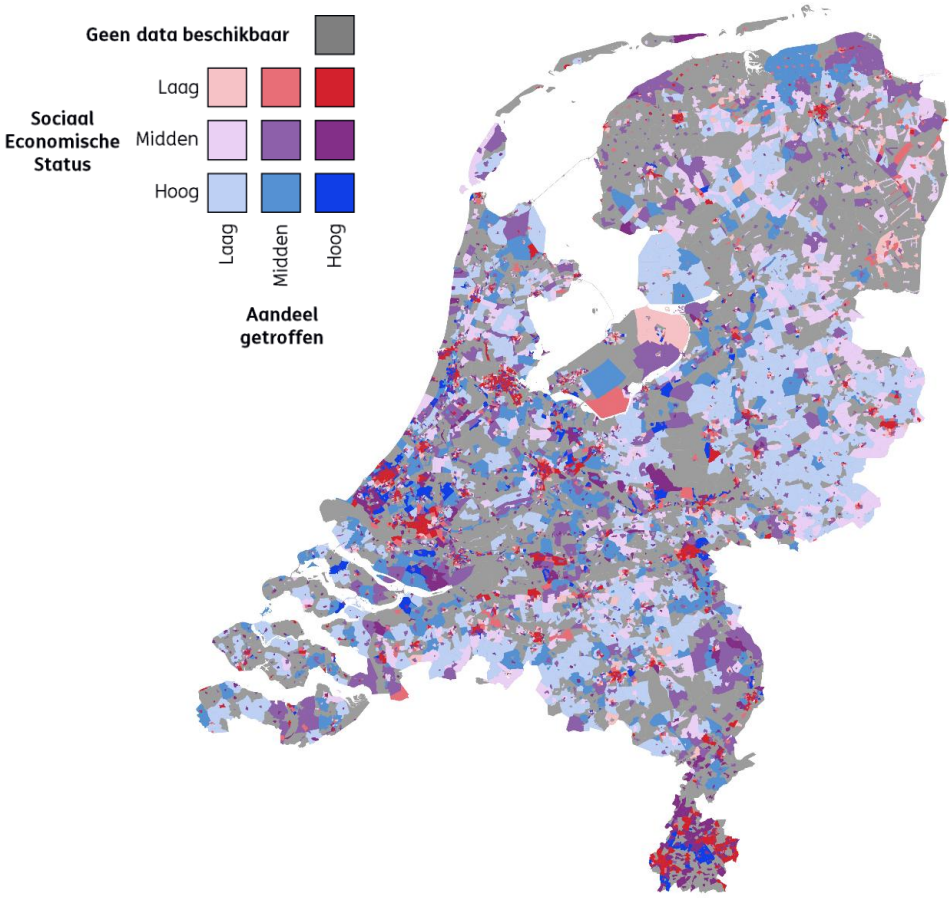
7.1.2 SES en piekbuien

Schade door acute wateroverlast als gevolg van piekbuien kan in essentie overal plaatsvinden, zoals eerder in deze rapportage is aangegeven. Tegelijkertijd duidt de WRR aan in haar rapport over sociale infrastructuur voor klimaatadaptatie, dat veelal de groepen met een lagere sociaaleconomische status kwetsbaarder zijn voor klimaatgebeurtenissen, waaronder acute wateroverlast door piekbuien (WRR, 2025). Figuur 7.4 laat de resultaten zien van een analyse naar de relatie tussen sociaaleconomische status (SES) en het aandeel getroffen panden. In tegenstelling tot bodemdaling betreft het hier enkel panden en niet het perceel of de openbare ruimte.



Figuur 7.4. Aandeel getroffen panden en sociaaleconomische status op buurtniveau voor acute wateroverlast door piekbuien.

Voor de SES-scores hebben we wederom gekozen voor een score kleiner dan 0 (wat onder het gemiddelde van Nederland is), tussen 0 en 0,17 (wat we als iets boven gemiddeld beschouwen) en groter dan 0,17 (een hoge SES-score). Voor het aantal getroffen gebouwen kiezen we ook voor drie categorieën, gekozen op een gelijke verdeling in de klassen ‘laag’, ‘midden’ en ‘hoog’. Op deze manier kan de verhouding tussen SES en blootstelling aan de klimaatrisico’s goed worden bekeken, omdat de klassen een gelijke populatie aan buurten bevatten. Figuur 7.5 toont een geaggregeerd beeld van de verhouding tussen de SES en het aandeel getroffen panden.



Figuur 7.5. Sociaaleconomische status en getroffen panden door piekbuien gestapeld, op buurtniveau.

Tabel 7.2 geeft de verhouding cijfermatig weer, op basis van het aantal inwoners dat in de negen categorieën buurten valt. Dit laat zien dat er een zekere relatie lijkt te zijn tussen de SES van een buurt en het aandeel door acute wateroverlast als gevolg van piekbuien getroffen panden. Zo woont ongeveer 22,0% van de inwoners van Nederland in een buurt met een lage SES, en een hoog aandeel door acute wateroverlast getroffen panden, terwijl slechts 2,7% van de inwoners in een buurt woont met een hoge SES, en een hoog aandeel door acute wateroverlast getroffen panden.

Wanneer we enkel kijken naar de buurten met een hoog aandeel door acute wateroverlast getroffen panden zien we dat ruim 58 procent van de inwoners ook nog eens in een buurt met

een lage SES woont. Dit laat zien dat schade door acute wateroverlast vanuit sociaaleconomisch perspectief ongelijk verdeeld is.

Tabel 7.2. Aantal en aandeel inwoners naar buurtcategorie (o.b.v. SES en aandeel getroffen panden).

SES-score	Aandeel getroffen panden	Aantal inwoners (in milj)	% inwoners
Hoog	Laag	1,03	5,8
Hoog	Midden	0,89	5,0
Hoog	Hoog	0,47	2,7
Midden	Laag	2,40	13,6
Midden	Midden	2,82	16,0
Midden	Hoog	2,24	12,7
Laag	Laag	1,38	7,8
Laag	Midden	2,06	11,7
Laag	Hoog	3,88	22,0
NA	NA	*ca. 4,25	*ca. 2,4

7.1.3 SES, fysieke broosheid, en hittestress

Hittestress in de gebouwde omgeving heeft een sterke sociaaleconomische dimensie. De gevoeligheid voor hittestress wordt sterk bepaald door het stedelijk hitte eiland effect, woningkenmerken, bewonersgedrag en de fysieke en sociaaleconomische kenmerken van bewoners. Deze factoren zijn ongelijk verdeeld over de bevolking, waardoor hittestress bestaande sociaaleconomische ongelijkheden kan versterken.

Naast sociaaleconomische kwetsbaarheid speelt ook fysieke broosheid een belangrijke rol in de gevoeligheid voor hittestress. Fysieke kwetsbaarheid verwijst naar een verminderde fysiologische capaciteit om warmte te reguleren, en een grotere gevoeligheid voor de fysieke gevolgen ervan. De fysieke kwetsbaarheid is bijvoorbeeld groter bij mensen met een hogere leeftijd, chronische aandoeningen (hart- en vaatziekten, nieraandoeningen, COPD of diabetes), medicatiegebruik of verminderde mobiliteit (Ebi et al., 2021; Jay et al., 2021). Mensen met een verhoogde kwetsbaarheid lopen bij (en na) blootstelling aan hitte een groter risico op hitte-uitputting, ziekenhuisopname (Daanen et al., 2010) of sterfte (Ebi et al., 2021; Klenk et al., 2010).

De ruimtelijke spreiding van fysieke kwetsbaarheid is ongelijk. De kaarten in hoofdstuk 6.5 laten zien dat fysieke, psychische en sociale kwetsbaarheid zich in specifieke wijken en gemeenten concentreert. Wanneer deze concentraties samenvallen met gebieden met een sterk stedelijk hitte-eilandeffect, ontstaat een verhoogd gezondheidsrisico dat beleidsmatig extra aandacht vraagt. Daarnaast wonen huishoudens met een kwetsbare SES relatief vaker in woningen die gevoeliger zijn voor oververhitting, zoals appartementen, bovenwoningen en woningen met beperkte ventilatiemogelijkheden.

De combinatie van fysieke broosheid, sociaaleconomische kwetsbaarheid en een hittegevoelige woonomgeving leidt tot een cumulatief risico. Deze huishoudens beschikken vaak over minder mogelijkheden om hun gedrag effectief aan te passen tijdens hitte (e.g.: kleding, spuien) bijvoorbeeld door beperkte mobiliteit of afhankelijkheid van anderen. Daarnaast wonen sociaaleconomisch kwetsbaren vaak in huurwoningen en zijn zij daardoor afhankelijk van private woningbouwcorporaties en private verhuurders voor het nemen van technische maatregelen zoals buitenzonwering, zonwerend glas of actieve koeling. Tegelijkertijd hebben zij doorgaans minder mogelijkheden om zelf te investeren in deze technische maatregelen. Bij huurwoningen zijn er ook minder marktprikkels voor dergelijke

investeringen omdat er enerzijds sprake is van een split-incentive, waar de verhuurder liever niet investeert in een maatregel waar alleen de verhuurder van profiteert, en anderzijds de bewoner liever geen investering maakt die niet terugverdiend wordt wanneer de bewoner de woning weer verlaat.

Het huidige beleid leidt ertoe dat technische gebouw-gerelateerde adaptatiemaatregelen tegen hittestress grotendeels autonoom tot stand zullen moeten komen. Hierdoor zullen investeringen in technische maatregelen zich naar verwachting concentreren bij sociaaleconomisch sterkere huishoudens (eigenaar-bewoners en huurwoningen in het duurdere segment). Beleid dat inzet op het stimuleren van gebouw gebonden maatregelen in bestaande woningen in de huursector kan deze ongelijkheid helpen verkleinen. Een voordeel van gebouw gebonden maatregelen is ook dat zij zeer gericht kunnen worden toegepast in de woningen met de grootste oververhittingsrisico's en bij bewoners met een kwetsbare gezondheid. Aanvullend beleid gericht op bestaande huurwoningen kan dus helpen om de sociaaleconomische ongelijke verdeling van hittestress tegen te gaan.

In het huidige klimaatadaptatiebeleid worden maatregelen gericht op de buitenruimte, en de financiering daarvan, vooral gezien als een gemeentelijke afweging. Hierdoor zijn er in het heden al grote verschillen te zien in de ambities en plannen van verschillende grootstedelijke gemeenten. De beleidsuitdaging is het grootst bij gemeenten met een relatief warm regionaal klimaat, een grootstedelijk hitte eiland, en relatief kleiner gemeentelijk budget, en relatief veel inwoners met een kwetsbare SES. Deze situatie is vooral kenmerkend voor de steden in het zuid-oosten van het land (zie hoofdstuk 6.5, i.e.: gemeenten zoals Tilburg, Sittard-Geleen, Roermond, Kerkrade, etc.). Het huidige beleid kan dan ook leiden tot grotere verschillen tussen deze steden en steden met een groter gemeentelijk budget in de randstad. Verschillen in SES en de blootstelling aan hittestress kunnen hierdoor verder worden vergroot.

Hittestress is daarmee niet alleen een klimaat- of gezondheidsvraagstuk, maar ook een verdelingsvraagstuk. Een effectieve en rechtvaardige adaptatiestrategie vraagt om een combinatie van intensiverende en transformerende maatregelen, waarbij expliciet rekening wordt gehouden met sociaaleconomische verschillen in blootstelling, gevoeligheid en adaptief vermogen. Zonder deze differentiatie bestaat het risico dat klimaatadaptatie ongelijkheid vergroot in plaats van verkleint. In het intensiverende beleidsscenario betekent dit dat er veel meer stimulering en financiële ondersteuning moet komen voor technische maatregelen bij bestaande huurwoningen. In het transformering scenario zal er meer moeten worden ingezet op ondersteuning gemeenten voor het nemen van gebiedsgerichte maatregelen vooral voor gemeenten waar de beleidsuitdaging het grootst is.

7.1.4 Sociaal-culturele effecten

De sociaaleconomische status van een persoon bepaalt in grote mate of hij in staat is om maatregelen te treffen wanneer hij te maken krijgt met schade door een van de klimaatrisico's, maar sociaal-culturele effecten leveren hier een belangrijke aanvulling op. Dat bepaalt namelijk of iemand ook welwillend is om klimaat-adaptieve maatregelen te nemen en voorstander is van klimaatbeleid. Onderzoek door Van der Linden (2015) laat zien dat voornamelijk sociale normen bepalen hoe mensen klimaatrisico's zien. Als mensen in iemands omgeving maatregelen nemen en de risico's van klimaatverandering erkennen, is de kans groter dat die persoon zelf ook meer risico ziet. Daar komt bovenop dat vrouwen en mensen met progressief wereldbeeld klimaatverandering als een groter risico ervaren, terwijl inkomen en leeftijd juist nauwelijks effect hebben.

Anderzijds werkt dit ook omgekeerd. McCrightt & Dunlap (2011) laten zien dat mensen die omringd worden door klimaatsceptici, of zich associëren met deze groep mensen (in-group effecten), vaker klimaatverandering ontkennen en ook minder welwillend zijn om actie te ondernemen. Zelfs als hen de feiten worden gepresenteerd, is de kans groot dat zij het bewijs verwerpen. Dit gedrag ontstaat voornamelijk doordat deze sociale groep zich bedreigd voelt in zijn existentie. Veel welgestelden binnen deze sociale groep ontlenen hun bestaanszekerheid aan processen die juist bijdragen aan klimaatverandering. Denk bijvoorbeeld aan CEO's van bedrijven die afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen. Omdat de groep zich bedreigd voelt, zal ze ook het bewijs eerder verwerpen en minder welwillend zijn om adaptieve maatregelen te treffen. Daarmee rijst de vraag hoe we niet alleen het bewustzijn over klimaatrisico's kunnen vergroten, maar ook hoe we de sociale normen kunnen sturen en de minder bedeelden binnen deze groep meer perspectief kunnen bieden.

Dit is waar de sociaaleconomische positie en de sociale identiteit van een persoon samenkomen. Sociaaleconomische verschillen hebben namelijk ook een belangrijke invloed op iemands opvattingen over klimaatverandering. Lübke (2022) laat zien dat klimaatontkenning groter is onder sociale groepen die meer onzekerheid op de arbeidsmarkt ervaren en onzeker zijn over hun toekomstige economische situatie. Deze effecten komen vaker voor in rurale en minder welvarende gebieden. De sociaaleconomische context van een regio speelt dus een belangrijke rol in de opvattingen over klimaatverandering.

In een tijd waar onder deze groep veel wantrouwen heerst ten aanzien van de nationale overheid moeten we mogelijk ook meer kijken naar lokale oplossingen. Uit interviews met gemeenten blijkt dat je het probleem heel tastbaar moet maken voor mensen en moet uitleggen wat de verschillende risico's voor hen persoonlijk betekenen. Het is veel tastbaarder voor mensen om te horen wat zij specifiek bij hun woningen kunnen verwachten. Echter, dit schuurt vaak met de bestaanszekerheid, hetgeen vaak de afweging tot het nemen van adaptatiemaatregelen bemoeilijkt.

De kruising tussen sociaaleconomische en sociaal-culturele effecten is vaak nog onderbelicht in adaptatiestrategieën. Dit is een eerste aanzet om het probleem te identificeren, maar er is meer vervolgonderzoek nodig om in kaart te brengen welke maatregelen ten aanzien van klimaatadaptatie het sociale gedrag van mensen beter kunnen sturen.

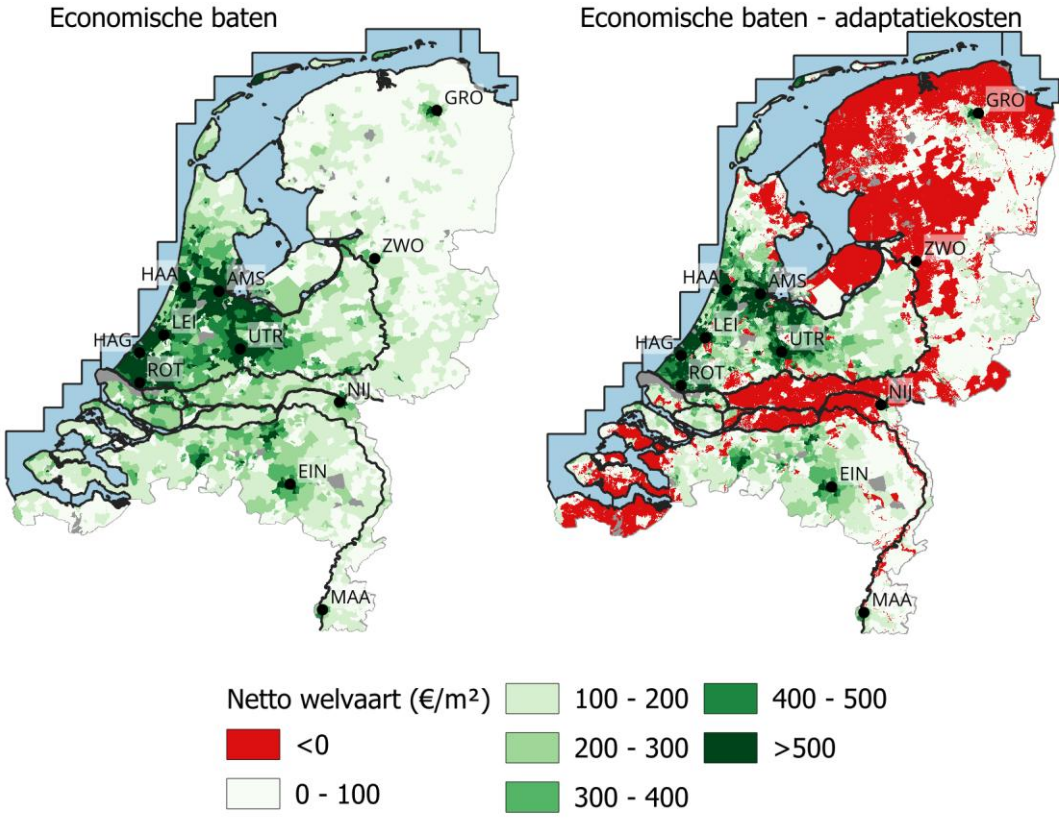
7.2 Economische baten van klimaatadaptatie

Klimaatadaptatie vergt extra investeringen, maar dat betekent ook dat het economische baten oplevert. De baten manifesteren zich op indirecte wijze en zijn voornamelijk afhankelijk van *waar* we investeren in klimaat-adaptieve maatregelen. Dit betekent dat we voor nieuwbouw juist goed ruimtelijk in kaart moeten brengen wat de kosten van klimaatadaptatie zijn en hoe hoog de economische baten zijn. Woningbouw klimaat-adaptief maken in gebieden met risico's kan renderen als de baten van productievere banen, meer voorzieningen en een uitgebreide infrastructuur opwegen tegen de kosten van de maatregelen (en andersom).

In de ruimtelijk economische literatuur worden deze economische baten ook wel agglomeratievoordelen genoemd. Simpelweg zijn dat de economische voordelen die ontstaan wanneer mensen en bedrijven zich concentreren in de ruimte. Zo kunnen mensen en bedrijven infrastructuur, publieke voorzieningen en afzetmarken delen, kunnen klanten, bedrijven en werknemers elkaar makkelijker vinden, en ontstaan er kennis-spillovers doordat mensen elkaar (spontaan) tegenkomen (Duranton & Puga, 2004).

Naast deze economische voordelen die steden productiever maken, vervullen stedelijke concentraties ook een rol voor consumenten. Steden trekken mensen aan omdat ze aantrekkelijk zijn om in te wonen en leven. De stad biedt een groot aanbod aan restaurants, bars, cultuur, sport, onderwijs en zorg, en kent veel meer variëteit dan het platteland. Bovendien biedt de stad meer mogelijkheden om vrienden, partners of gelijkgestemden te vinden. De stad is dus niet alleen een plek om te werken, maar ook om te consumeren en leven. En juist dat trekt weer veel creatieve en getalenteerde mensen aan (Gleaser et al., 2001).

Voor klimaatadaptatie betekent dit dat we de economische baten moeten vergelijken met de extra benodigde investeringen. In gebieden waar de kosten de baten overstijgen, zijn extra financiële middelen nodig als we ook daar klimaatadaptief willen bouwen. Premchand & Mulder (2025) zochten uit hoe groot die baten per plek zijn als we ook rekening houden met de kosten van klimaatadaptatie bij nieuwbouwwoningen. Figuur 7.6 geeft de ruimtelijke spreiding weer van de baten van nieuwbouw met en zonder klimaatadaptatie. De groten steden in de Randstad en grote steden elders in het land, zoals Eindhoven, Groningen en Nijmegen, vallen meteen op. Dit zijn de steden waar de economische baten het hoogst liggen, juist omdat ze veel agglomeratievoordelen genereren. Zelfs met extra investeringen in klimaatadaptatie blijven deze steden hogere baten genereren dan veel gebieden in het noorden van het land en langs de grote rivieren. Daar ontstaan zelfs negatieve baten. Dat betekent dat de extra investeringen in klimaatadaptatie hoger liggen dan de potentiële economische baten.



Figuur 7.6. Baten van nieuwbouw met en zonder extra investeringen in klimaatadaptatie (Premchand & Mulder, 2025).

Hoewel op veel plekken de economische baten van klimaatadaptatie veel hoger liggen dan de extra investeringen kan de ontwikkelaar deze posten niet zomaar tegen elkaar wegstrepen in de business case. Maatregelen als het beter voorbelasten van de openbare ruimte en de gevel

waterdicht aanleggen leiden namelijk tot directe kosten die nú voor rekening komen van de ontwikkelaar, terwijl de lange termijn baten zoals een verhoogde productiviteit en toegang tot meer culturele voorzieningen via indirecte mechanismen terechtkomen bij voornamelijk de inwoners en bedrijven van het gebied (Ten Brinke et al., 2022). Dit vormt een belangrijke belemmering waardoor veel investeringen nu nog achterblijven. We moeten dus verder onderzoeken hoe we de discrepantie in de kosten en baten anders kunnen verdelen over de verschillende partijen.

7.3 Kostenverdeling

De sociaaleconomische en culturele perspectieven in combinatie met de economische potentie van een locatie zorgen ervoor dat er verdelingseffecten zullen ontstaan tussen de lusten en lasten van klimaatadaptatie. Juist omdat er zoveel verschillende partijen vanuit zowel het publieke als private domein betrokken zijn, is de financiering van klimaatadaptatie een zeer complex probleem waarbij veel uitkomsten van politieke beslissingen afhangen.

De verdelingsvraag is terug te zien bij maatregelen tegen hittestress. Investeringen in vergroening van de openbare ruimte worden veelal door gemeenten gedragen, terwijl de baten zoals lagere binnentemperaturen, minder gezondheidsklachten en vermeden zorgkosten, deels neerslaan bij bewoners en het zorgstelsel. Omgekeerd vragen gebouwgebonden maatregelen zoals zonwering, gevelaanpassingen of passieve koeling investeringen van gebouweigenaren en verhuurders, terwijl een belangrijk deel van de baten in de vorm van verbeterde gezondheid, productiviteit en leefbaarheid bij bewoners en de maatschappij liggen.

Bovendien moeten we hier een onderscheid maken tussen publieke en private investeringen. Dijkversterkingen zijn een klassiek voorbeeld van publieke goederen. Dat zijn voorzieningen die niet-uitsluitbaar (je kan mensen de toegang niet ontzeggen) en niet-rivaliserend zijn (het gebruik van het goed door de één zorgt er niet voor dat de ander er minder gebruik van kan maken of minder baten heeft). Dergelijke publieke goederen worden verzorgd door de overheid omdat ze anders niet tot stand komen. Daarmee is het dus een publieke investering die wordt gefinancierd met belastinggeld waar iedereen in Nederland aan bijdraagt. De vraag is of dit rechtvaardig is als mensen er juist voor kiezen om niet in zulke gebieden te wonen. Moet iemand op de hoge zandgronden van Noord-Brabant meebetalen aan het drooghouden van het Groene Hart? Dat is een vraag waar alleen een politieke keuze over gemaakt kan worden.

Ook bij hittestress spelen afwegingen in de ruimtelijke verdeling van lasten over verschillende gebieden in Nederland. Het verminderen van het stedelijk hitte-eilandeffect heeft kenmerken van een publiek goed met baten voor alle bewoners in een wijk. In de huidige beleidssituatie worden maatregelen die het stedelijk hitte-eilandeffect verminderen gezien als een gemeentelijke investeringsafweging. Nederlandse gemeenten verschillen echter sterk in financiële capaciteit. Omdat de uitdaging is het grootst in warmere en sociaaleconomisch kwetsbare stedelijke gebieden kan er zonder aanvullend beleid zo een ongelijkheid ontstaan tussen gemeenten.

Anderzijds zien we bij private goederen ook vaak het omgekeerde. Het verhoogd aanleggen van de woning of waterdichte gevels zijn hier typische voorbeelden van. Andere mensen hebben niet per se baten van de investering en je kunt mensen er ook van uitsluiten. Toch genereren sommige investeringen externe effecten waar de hele buurt van profiteert. Groene tuinen zorgen bijvoorbeeld voor meer verkoeling, meer infiltratie van regenwater en een toename van de woningwaarden in de directe omgeving. Dit is exact ook waar het ingewikkeld wordt, want het is wel wenselijk om meer groene tuinen aan te leggen, maar individuele

woningeigenaren hebben daar niet per se de prikkels voor. De investering vindt privaat plaats, maar de baten worden publiekelijk gedeeld.

Particuliere maatregelen tegen hittestress kunnen negatieve externe effecten hebben. Airconditioning biedt individuele verkoeling, maar kan geluidsoverlast veroorzaken en op grotere schaal het stedelijk hitte-eilandeffect versterken, waardoor nachttemperaturen stijgen. Huishoudens zonder airco worden daardoor relatief zwaarder belast, waardoor individuele adaptatie zonder sturing kan leiden tot nieuwe ongelijkheid.
Daarnaast speelt de kosteneffectiviteit van de maatregelen een rol. Het kostenplaatje van schade door acute wateroverlast door piekbuien in de huidige situatie is aanzienlijk, en bij bodemdaling kan dit tot duizenden euro's oplopen. Tegelijkertijd kunnen ook de kosten van adaptatiemaatregelen hoog uitvallen, zeker wanneer het meer ingrijpende maatregelen betreft, zoals ingrepen aan de riolering. Tot op welke hoogte wegen de kosten van adaptatiemaatregelen op tegen de schadekosten die ermee bespaard worden? Oftewel, wat is de kosteneffectiviteit van adaptatiemaatregelen?

Voor hittestress is de kosteneffectiviteit complex, omdat de baten (e.g.: vermeden gezondheidsklachten en hogere productiviteit) niet altijd direct terecht komen bij de investeerder. Hierdoor ontstaat een mismatch: juist in kwetsbare wijken en bij huurwoningen ontbreekt vaak de investeringsruimte, terwijl daar de gezondheidswinst het grootst is. Gerichte instrumenten zoals subsidies, normering of prestatieafspraken zijn nodig om investeringen te sturen naar plekken met de hoogste maatschappelijke baten.

Onderzoek van Leusink (2018)[11] biedt eerste inzichten in de kosteneffectiviteit van klimaatadaptatie, onder meer specifiek voor wateroverlast. Dit onderzoek maakt gebruik van de eerder vermelde normstelling dat er bij een bui die eens in de honderd jaar voorkomt geen sprake mag zijn van schade door acute wateroverlast. Op landelijke schaal zou volledige opvolging van deze norm kosteneffectief gezien niet uitkunnen. De kosten van de te nemen maatregelen zouden immers hoger liggen dan de bespaarde schadekosten.

Uit de interviews die we hebben afgenomen blijkt dat het opstellen van een meervoudige business case hier een oplossing voor zou kunnen bieden. Hierbij worden niet alleen de economische kosten en baten meegewogen, maar ook de maatschappelijke en ecologische opbrengsten. In de context van klimaatadaptatie omvat dit onder andere de effecten op waterveiligheid, natuurontwikkeling en leefbaarheid. Het integraal benaderen van adaptatiemaatregelen kan de kosteneffectiviteit tot een zeker niveau verhogen waardoor (te) dure maatregelen die gericht waren op één specifiek doel, nu wel kostenefficiënt zijn, doordat ze meerdere doelen dienen, en daarmee meerdere financiers.

Dit hoofdstuk heeft laten zien dat klimaatadaptatie leidt tot ruimtelijke verdelingseffecten. De lusten en lasten worden niet gelijk gedragen tussen verschillende regio's en hun inwoners. Technisch is er veel mogelijk op het gebied van klimaatadaptatie, maar we moeten de mogelijkheden om te lusten en lasten beter te herverdelen beter in kaart brengen. Uiteindelijk moet er dan een (politieke) keuze gemaakt worden over wat we een eerlijke verdeling vinden.

[11] In tegenstelling tot deze rapportage gaat het onderzoek van Leusink breder dan enkel schade door water in panden of water op straat. Ook schade door overstroomde treinsporen wordt meegenomen. Dit heeft mogelijk invloed op de conclusies van het onderzoek in relatie tot deze rapportage.

8 Conclusie

In dit rapport zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de gebouwde omgeving in Nederland in kaart gebracht, met specifieke aandacht voor drie klimaatrisico's: (1) bodemdaling en funderingsschade, (2) acute wateroverlast als gevolg van piekbuien en (3) hittestress in het binnenmilieu van woningen. Deze drie risico's zijn illustrerend voor de bredere set aan klimaatrisico's. Ze verschillen namelijk in hun tempo, zichtbaarheid en manifestatie van schade. Bodemdaling en funderingsschade vormen een langzaam, sluipend risico dat zich over decennia ontwikkelt en waarvan de schade zich grotendeels privaat manifesteert. Acute wateroverlast als gevolg van piekbuien is daarentegen plotseling zichtbaar en leidt vaak tot directe publieke en private schade. Hittestress neemt een tussenpositie in: het risico bouwt zich geleidelijk op, is minder zichtbaar dan waterschade, maar heeft directe gevolgen voor gezondheid, welzijn en productiviteit van bewoners.

Voor elk van deze risico's is onderzocht waar en in welke mate de gebouwde omgeving wordt blootgesteld, welke gebouwen het meest kwetsbaar zijn, en welke adaptatiemaatregelen beschikbaar en effectief zijn. Daarnaast is expliciet aandacht besteed aan de sociaaleconomische dimensie van klimaatadaptatie, waaronder de verdeling van kosten en baten, verantwoordelijkheden en ongelijkheid tussen huishoudens en regio's. In het vervolg van deze conclusie worden per klimaatrisico de belangrijkste bevindingen samengevat. Tot slot worden de overkoepelende sociaaleconomische afruilen en beleidsimplicaties besproken die uit deze analyses naar voren komen.

Bodemdaling en funderingsschade
Bodemdaling en funderingsschade komen voornamelijk voor in het westen en noorden van Nederland en in het rivierengebied – gebieden die worden gekenmerkt door slappe veen- en kleigronden. De analyses laten zien dat een substantieel deel van de gebouwde omgeving in deze gebieden is blootgesteld aan bodemdaling, waarbij de impact in de komende decennia verder toeneemt als gevolg van toenemende droogte en lage grondwaterstanden. Funderingsschade vormt daarbij de grootste schadepost voor woningeigenaren. Met name oudere woningen met houten of ondiepe funderingen zijn kwetsbaar voor paalrot, verschilzetting en negatieve kleef. De kosten van funderingsherstel kunnen oplopen tot meer dan €100.000 per woning, waardoor funderingsschade niet alleen een technisch, maar ook een nadrukkelijk sociaaleconomisch probleem vormt.

De studie laat zien dat het huidige beleid sterk is gericht op technische maatregelen en schadeherstel, terwijl preventie slechts beperkt mogelijk is en bewustwording een cruciale rol speelt. De kwalitatieve duiding van de verschillende scenario's laat zien dat het voorkomen van de schade vaak lastig is. Het gaat dan eerder om uitstel, wat niet wegneemt dat een lage kwaliteit en slecht onderhoud van de fundering op termijn alsnog aandacht vereist. Hoewel transparante informatie ertoe leidt dat risico's deels worden verdisconteerd in woningprijzen en het bewustzijn vergroot, biedt dit geen oplossing voor huishoudens met beperkte financiële draagkracht. Zonder aanvullende financiële instrumenten en een duidelijk handelingsperspectief dreigt funderingsschade daarmee te leiden tot toenemende ongelijkheid en uitstel van noodzakelijke maatregelen.

Acute wateroverlast
Acute wateroverlast door piekbuien vormt een toenemend klimaatrisico voor de gebouwde omgeving in Nederland. Klimaatscenario's laten zien dat hevige neerslag in frequentie en intensiteit toeneemt, waardoor zowel stedelijke als landelijke gebieden vaker te maken krijgen met water op straat en schade aan gebouwen. De mate van wateroverlast verschilt sterk per locatie en wordt bepaald door lokale omstandigheden, zoals reliëf, bodemtype, verhardingsgraad, de inrichting van de openbare ruimte en het ontwerp van gebouwen. Vooral in stedelijke gebieden kan een combinatie van verharding en beperkte infiltratiecapaciteit leiden tot aanzienlijke schade bij piekbuien.

De studie laat zien dat wateroverlast zich onderscheidt van andere klimaatrisico's door de hoge zichtbaarheid en het vaak acute karakter van de schade. Toch ontbreekt hier ook vaak onduidelijkheid over de verantwoordelijkheden tussen verschillende publieke partijen en woningeigenaren. Tegelijkertijd is het huidige beleid sterk gericht op technische maatregelen en schadebeperking, zoals het vergroten van afvoercapaciteit (bijv. het aanpassen van het rioolstelsel). Aan aanvullende ruimtelijke maatregelen en structurele keuzes over verharding, stedelijke inrichting en klimaatbestendig bouwen vinden meer en meer plaats, en vragen om toenemende aandacht. Toch blijft het risico op herhaalde schade bestaan, met name in gebieden waar blootstelling en kwetsbaarheid samenkomen.

Hittestress
Hittestress in het binnenmilieu neemt sterk toe en vormt een groeiend risico voor comfort en gezondheid. In het huidige klimaat heeft circa 35% van de Nederlandse meergezinswoningen te maken met zeer grote oververhitting. Zonder aanvullend beleid stijgt dit richting 2050 tot 41% in een beperkt- en 57% in een sterk risicoverhogend klimaatscenario.

Hittestress in het binnenmilieu wordt bepaald door een samenspel van klimaat, stedelijk hitte-eilandeffect, gebouwkenmerken en bewonersgedrag. Vooral stedelijke woningen en appartementen met beperkte ventilatiemogelijkheden zijn kwetsbaar.

De scenarioanalyses laten zien dat met een intensiverend adaptatiebeleid, gericht op grootschalige toepassing van gebouwmaatregelen, het huidige niveau van oververhitting in het woningbestand in 2050 grotendeels kan worden gehandhaafd. Dit vraagt echter ingrepen in honderdduizenden (beperkt risicoverhogend klimaatscenario) tot meer dan een miljoen woningen (sterk risicoverhogend klimaatscenario). Ruimtelijke maatregelen die het stedelijk hitte-eilandeffect verminderen zijn essentieel, maar blijken in een sterk risicoverhogend klimaatscenario onvoldoende om de toename van hittestress zelfstandig te compenseren.

Aanvullend klimaatbeleid is nodig om een substantiële toename in de mate oververhitting in Nederlandse woningen te voorkomen. Hiervoor is een geïntegreerde benadering nodig gericht op ruimtelijke inrichting, gebouwontwerp, renovatiestrategieën en veranderingen in bewonersgedrag. Tijdige beleidssturing is hierbij cruciaal: uitstel van maatregelen vergroot de toekomstige opgave en zal leiden tot een toename van oververhitting, verminderde gezondheid, welzijn en productiviteit van bewoners en een verslechtering van de woonkwaliteit van het bestaande woningenbestand. Ook zal bij het huidige beleid de afhankelijkheid van energie-intensieve koeloplossingen groeien.

Sociaaleconomische afruilen en beleidsimplicaties
Klimaatadaptatie in de gebouwde omgeving wordt niet primair begrensd door technische mogelijkheden, maar door de manier waarop de kosten, baten en verantwoordelijkheden zijn verdeeld. Bij alle drie de risico's geldt dat investeringen in adaptatie vaak hoge kosten op de korte termijn met zich meebrengen, terwijl de baten pas op langere termijn zichtbaar worden

en bovendien bij verschillende partijen terechtkomen. Deze mismatch vormt een belangrijke verklaring voor het uitblijven van tijdige en grootschalige adaptatie.

Daarnaast laat dit rapport zien dat klimaatrisico's en sociaaleconomische kwetsbaarheid elkaar op verschillende manieren versterken. Huishoudens met een beperkte financiële draagkracht hebben minder mogelijkheden om preventieve maatregelen te treffen of schade te herstellen, terwijl generieke beleidsinstrumenten en subsidies niet altijd de meeste kwetsbare doelgroepen bereiken. Zonder expliciete aandacht voor verdelingseffecten dreigt klimaatadaptatie daarmee bestaande ongelijkheden te vergroten.

Ook de verdeling van verantwoordelijkheden blijkt een terugkerend knelpunt. Klimaatrisico's manifesteren zich op het niveau van individuele woningen en buurten, terwijl beleidsinstrumenten en bevoegdheden zijn versnipperd over verschillende bestuurslagen. Dit leidt in de praktijk tot uitstel en afwenteling van de schade en kosten in plaats van adaptatie.

Tot slot onderstreept de analyse het belang van expliciete ruimtelijke keuzes, met name bij nieuwbouw. In gebieden met hoge economische baten, zoals bestaande steden, kunnen de maatschappelijke opbrengsten van verdichting via agglomeratievoordelen de extra kosten van klimaatadaptatie overstijgen. In gebieden met lage economische baten en overlappende klimaatrisico's ligt dit anders en moet per casus worden bekeken welke mogelijkheden haalbaar zijn. Effectief adaptatiebeleid vraagt daarom om een integrale afweging waarin technische haalbaarheid, verantwoordelijkheden en sociaaleconomische verdelingseffecten gezamenlijk worden beschouwd.

De analyse in dit rapport laat zien dat klimaatadaptatie in de gebouwde omgeving meer is dan een technisch vraagstuk, het gaat ook om ruimtelijke keuzes, kostenverdeling en verantwoordelijkheid. Door deze keuzes expliciet en tijdig in kaart te brengen, kan worden voorkomen dat uitstel leidt tot hogere maatschappelijke kosten en toenemende ongelijkheid.

Referenties

1Twente (2025, juni 28). *Bijna 6,5 miljoen euro aan schade door extreem weer in Enschede, neerslag grote boosdoener*. https://www.1twente.nl/artikel/5561921/bijna-6-5-miljoen-euro-aan-schade-door-extreem-weer-in-enschede-neerslag-grote-boosdoener.

ABDTOPConsult (2025). *De olifant onder de kamer. Een nationale aanpak voor funderingsproblematiek vanuit drie benaderingen*. Algemene Bestuursdienst Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrelaties.

Ambient (2020). Verantwoordelijkheden bij risico's van extreem weer in een veranderend klimaat.

Atlas Natuurlijk Kapitaal (2025). Regenwaterafvoer in de stad verbeteren.

Bakker, L. G., Zonneveldt, L., & Oeffelen (van), E. C. M. (2011). Energiegebruik, comfort en zonwering MKB-kennisoverdracht. TNO.

Belenky, G., Wesensten, N. J., Thorne, D. R., Thomas, M. L., Sing, H. C., Redmond, D. P., Russo, M. B., & Balkin, T. J. (2003). Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: A sleep dose-response study. *Journal of Sleep Research*, *12*(1), 1–12.

Bessembinder, J., Bintanja, R., Van Dorland, R., Homan, C., Overbeek, B., Selten, F., & Siegmund, P. (2023). *KNMI'23 klimaat scenario's voor Nederland*.

Betgen, C. D. (2024). *Health effects of climate change An update of the current risks of climate change for health*.

Booister, N., Hekman, A., Swinkels, R., Wienhoven, M., Hek, M., Nillese, A.L., Ter Horst, W., Van Alphen, J. (2021). *Het effect van klimaatverandering op de woningbouwopgave*. Sweco, Ecorys, Deltares & Defacto Stedenbouw.

Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings, 27(1), 83–96. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4

Butt, A. A., de Vries, S. B., Loonen, R. C. G. M., Hensen, J. L. M., Stuiver, A., van den Ham, J. E. J., & Erich, B. S. J. F. (2021). Investigating the energy saving potential of thermochromic coatings on building envelopes. Applied Energy, 291, 116788. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116788

CAS (2025). Klimaateffectatlas.

CBS (2025). Hoe interpreteer je de SES-WOA-scores en hoe zijn deze bepaald?

CLO (2023). Neerslagextremen in Nederland, 1910-2022.

Daanen, H. A. M., Simons, M., & Janssen, S. A. (2010). *De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam*.

de Dear, R., Brager, G., & D, C. (1997). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference—Final Report on RP-884* (Vol. 104). ASHRAE.

de Lange, S., Van Der Brug, W., & Harteveld, E. (2023). Regional resentment in the Netherlands: A rural or peripheral phenomenon?. *Regional Studies*, *57*(3), 403-415.

de Vries, F., de Vries, S., Dante, F., Schoonderbeek, J., Corpel, L., Kluck, J., Heller, R., Linde, M. van der, Reichwein, M. de G. –, Zuurbier, M., Engels, J., Offermans, P. N. en A., & Thomaes, M. B. en T. (2024). Hitte in de woning - Factsheets voor een integrale hitteaanpak met een lage energievraag voor koeling.

de Vries, F., de Vries, S., Dante, F., Schoonderbeek, J., Corpel, L., Kluck, J., Heller, R., Linde, M. van der, Reichwein, M. de G. –, Zuurbier, M., Engels, J., Offermans, P. N. en A., & Thomaes, M. B. en T. (2024). *Hitte in de woning—Factsheets voor een integrale hitteaanpak met een lage energievraag voor koeling*.

de Vries, F., de Vries, S., Kluck, J., Corpel, L., Föllmi, D., & Solcerova, A. (2023). RAAK: Hitte in de woning . In Resultaten van hitte metingen in Nederlandse coorporatie woningen (unpublished) . Hoge school van Amsterdam.

de Vries, F., Heller, R., Melet, E., & Kluck, J. (2020). Woning hitteproef 2019 - Onderzoek naar factoren die van invloed zijn op de daadwerkelijke temperatuur in bestaande woningen tijdens (extreem) warme dagen. Hogeschool van Amsterdam.

de Vries, S. B. (2022). A computational framework for analysis and optimisation of automated solar shading systems: Within high performance building facades. Eindhoven University of Technology.

de Vries, S. B., Loonen, R. C. G. M., & Hensen, J. L. M. (2021). Simulation-aided development of automated solar shading control strategies using performance mapping and statistical classification. Journal of Building Performance Simulation, 1–23. https://doi.org/10.1080/19401493.2021.1887355

Deelen, A., Tijm, J., Trinks, A., & Schippers, V. (2025). *Overstromingsrisico voor Nederlandse Huishoudens: financiële omvang en verdeling*. Centraal Planbureau (CPB).

Deltares, BoschSlabbers & Sweco (2021). *Op Waterbasis*.

DGBC (2023a). Framework for Climate Adaptive Buildings. Deel 1: De omgevingsscore.

DGBC (2023b). Framework for Climate Adaptive Buildings. Deel 2: De gebouwscore.

Duranton, G., & Puga, D. (2004). Micro-foundations of urban agglomeration economies. In *Handbook of regional and urban economics* (Vol. 4, pp. 2063-2117). Elsevier.

Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, *398*(10301), 698–708. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3

Ekker, H. (2021, October). Honderdduizenden huurders met enkel glas zitten klem door hoge gasprijs. NOS Nieuws. https://nos.nl/collectie/13880/artikel/2400596-honderdduizenden-huurders-met-enkel-glas-zitten-klem-door-hoge-gasprijs

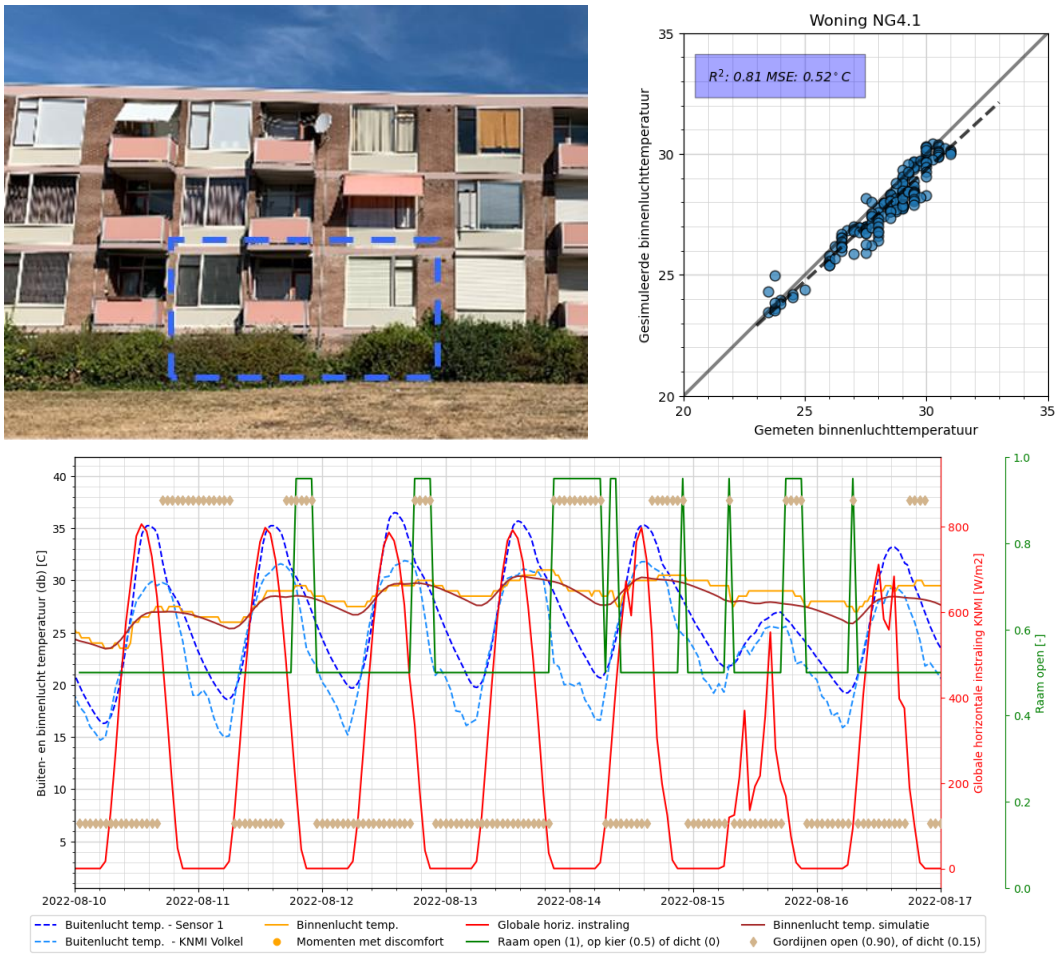
Erfgoedhuis Zuid-Holland (2024). Klimaatrisico's voor Zuid-Hollands erfgoed in beeld.
Erkens, G., Van der Meulen, M. J., & Middelkoop, H. (2016). Double trouble: subsidence and CO2 respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatlands cultivation. *Hydrogeology Journal*, *24*(3), 551-568.
Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. Occupational and Environmental Medicine, 30(4), 313–324.
Fokker, P. A., Candela, T. G. G., Erkens, G., Hanssen, R. F., Kooi, H., Koster, K. & Van Leijen, F. J. (2025). *Subsidence*. Geology of the Netherlands.
Foster, J., Smallcombe, J. W., Hodder, S., Jay, O., Flouris, A. D., Nybo, L., & Havenith, G. (2021). An advanced empirical model for quantifying the impact of heat and climate change on human physical work capacity. *International Journal of Biometeorology*, *65*(7), 1215–1229. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02105-0
Glaeser, E. L., Kolko, J., & Saiz, A. (2001). Consumer city. *Journal of Economic Geography*, *1*(1), 27-50.
Haytink, T. G., Kaspers, J., & Valk, H. J. J. (2025). klimaatadaptatie verduurzaaming gebouwde omgeving. https://topsectorenergie.nl/documents/1458/20250320_Rapport_Klimaatadaptatie_verduurzaming_Gebouwde_Omgeving_-_Nieman.pdf
Haytink, T. G., Kaspers, J., & Valk, H. J. J. (2025). *Klimaatadaptatie verduurzaaming gebouwde omgeving*. Nieman.
HKV lijn in water, TAUW & Defacto Stedenbouw (2023). Ruimtelijk afwegingskader klimaatadaptieve gebouwde omgeving.
Hoes, P., Trcka, M., Hensen, J. L. M., & Hoekstra Bonnema, B. (2011). Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. Energy Conversion and Management, 52(6), 2442–2447. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.050
Hoevers H. J. (2021). Evaluation of the TOJuly indicator in relation to current and future challenges of overheating in the residential building stock. In Faculty of the Built Environment: Vol. Msc. Eindhoven University of Technology.
Hommes, S., Phlippen, S., Van Reeken-van-Wee, J., Schreuder, C., & Ypma, F. (2023). *'Gemelde funderingsschade leidt tot forse prijskorting bij woningverkoop.'* ESB 108(4819), pp. 136–139
Howell, J., & Elliott, J. R. (2019). Damages done: The longitudinal impacts of natural hazards on wealth inequality in the United States. *Social problems*, *66*(3), 448-467.
IPLO (2025). Wateroverlastnormen voor regionaal oppervlaktewater.
https://publications.tno.nl/publication/34644148/Y24Fc2tE/fokker-2025-subsidence.pdf
Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Ebi, K. L. (2021). Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: From personal cooling strategies to green cities. *The Lancet*, *398*(10301), 709–724. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01209-5
KBF (2022a). *Leidraad. Notitie financiën voor gemeenten met bodemdaling. Programmatisch werken aan bodemdaling in bebouwd gebied*. Kenniscentrum Bodemdaling en Funderingen.
KBF (2022b). *Rechten en plichten bij bodemdaling*. Kenniscentrum Bodemdaling en Funderingen.
Kennisportaal Klimaatadaptatie (2023). Extreme neerslag neemt al tientallen jaren toe.
Kennisportaal Klimaatadaptatie (2025a). Hoe kan wateroverlast ontstaan? - Klimaatadaptatie.
Kennisportaal Klimaatadaptatie (2025b). Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag.
Klenk, J., Becker, C., & Rapp, K. (2010). Heat-related mortality in residents of nursing homes. *Age and Ageing*, *39*(2), 245–252. https://doi.org/10.1093/ageing/afp248
Klepeis, N. E., Nelson, W. C., OTT, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *11*(3), 231–252. https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165
Kloosterman, R., Akkermans, M., Reep, C., Wingen, M., Molnár - In 't Veld, H., & van Beuningen, J. (2021). Klimaatverandering en energietransitie: opvattingen en gedrag van Nederlanders in 2020 - 4. Duurzaam wonen. https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2021/klimaatverandering-en-energietransitie-opvattingen-en-gedrag-van-nederlanders-in-2020/4-duurzaam-wonen?
Kluck, J., Klok, L., Solcerová, A., Kleerekoper, L., Wilschut, L., Jacobs, C., Loeve, R., Daniels, E. E., & Dankers, R. (2020). De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam.
Kluck, J., Van Der Strate, E., Mesdaghi, B., De Vries, S., Corpel, L., Solcerova, A., Thoen, H., Groen, R., Nieuweboer, L., Van De Ridder, J., Jannink, B., Goetgeluk, R., Sander Ten Hove, E., Zwakhals, L., & Hagens, W. (2023). Hitte in bestaande woningen 2.0 Achtergronddocument.
KNMI (2024). KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands, v2¸ De Bilt.
KNMI (2025a). Extreme neerslag.
KNMI (2025a). Klimaatdashboard.
KNMI (2025b). KNMI'23-klimaatscenario's Dataportaal - Kerncijfers.
Kok, S. & Angelova, L. (2020). *'Impact droogte op funderingen'*. Deltares.
Kok, S. (2021). *Technische toelichting risicokaarten funderingen.* Deltares.
Kok, S., van der Putten, S., Kraus, J. (2021). Naar een kennisagenda funderingsproblematiek. Deltares & TNO.
Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., & Steeneveld, G. J. (2020). A standardized Physical Equivalent Temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands. *Building and Environment*, *181*, 106984. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106984
Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, *43*(5), 1057–1062. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001
Lauwaet, D., De Nijs, T., Liekens, I., Hooyberghs, H., Verachtert, E., Lefebvre, W., De Ridder, K., Remme, R., & Broekx, S. (2018). A new method for fine-scale assessments of the average urban Heat island over large areas

and the effectiveness of nature-based solutions. *One Ecosystem*, *3*, e24880. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e24880
le Grand, A., Duijm, F., Greven, F., van Loenhout, J., Zuurbier, M., & Hoek, G. (2014). Blootstelling aan hitte bij ouderen in stadswoningen. GGD Groningen, GGD Gelderland-Midden, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht.
Leusink, E. (N/A). Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland.
Lübke, C. (2022). Socioeconomic roots of climate change denial and uncertainty among the European population. *European Sociological Review*, *38*(1), 153-168.
McCright, A. M., & Dunlap, R. E. (2011). Cool dudes: The denial of climate change among conservative white males in the United States. *Global environmental change*, *21*(4), 1163-1172.
Mees, H. L., Driessen, P. P., & Runhaar, H. A. (2012). Exploring the scope of public and private responsibilities for climate adaptation. *Journal of Environmental Policy & Planning*, *14*(3), 305-330.
Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Nationale klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS).
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2023). Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie.
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2025). In situ sanering, doorlatendheid van de bodem | Bodemrichtlijn.
Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (2025a). Conceptrapport fase 1. Sneller, meer, goedkoper.
Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (2025b). Kamerbrief Klimaatadaptieve gebouwde omgeving.
NKB (2024, september 11). *Factsheet Natte Teelten*. Nationaal Kennisprogramma Bodemdaling. https://edepot.wur.nl/524205
NKWK (2017). NatteKrant #01.
NOS. (2020, August 21). *400 sterfgevallen meer door hittegolf*. https://nos.nl/artikel/2344871-ruim-400-sterfgevallen-meer-door-hittegolf
NOS. (2025, April 3). *Zestig gezinnen raken huis definitief kwijt na hoosbui Enschede*. https://nos.nl/artikel/2562192-zestig-gezinnen-raken-huis-definitief-kwijt-na-hoosbui-enschede.
Oleson, K. W., Monaghan, A., Wilhelmi, O., Barlage, M., Brunsell, N., Feddema, J., Hu, L., & Steinhoff, D. F. (2015). Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. Climatic Change, 129(3), 525–541. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0936-8
Ottelé, M., & Perini, K. (2017). Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. Ecological Engineering, 108, 152–161. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.016
PBL (2023). Natuur in en om de stad.
Peeters, L., Dear, R. de, Hensen, J., & D'haeseleer, W. (2009). Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. *Applied Energy*, *86*(5), 772–780. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.011
Pelsma, T. A., Motelica-Wagenaar, A. M. en Troost, S. (2020). 'A social costs and benefits analysis of peat soil-subsidence towards 2100 in 4 scenarios'. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 382, pp. 669–675.
Platform voor duurzame financiering (2023). Klimaatadaptatie in een stroomversnelling.
Premchand, Y.R. & Mulder, P. (2025). *Urban densification to support climate adaptation: Balancing costs and agglomeration benefits in the Netherlands* (No. 25-073/VIII). Tinbergen Institute Discussion Paper.
Premchand, Y.R., de Groot, H.L.F., de Graaff, T. en Koomen, E. (2024). *Land subsidence exposed: The impact on house prices in the Netherlands* (No. 24/073/VIII)). Tinbergen Institute Discussion Paper.
Radar (2024). Schade door wateroverlast: ben je verzekerd?
Rijksoverheid (2022). Nationaal Water Programma 2022-2027.
Rijksoverheid (2025). Waterbeheer in Nederland.
Rijkswaterstaat (2025). Actueel Hoogtebestand Nederland - AHN4.
RIONED (2019a). De effectiviteit van klimaatadaptatiemaatregelen.
RIONED (2019b). Modellen voor juridische instrumenten waterberging.
Rli (2024). Goed gefundeerd: advies om te komen tot een nationale aanpak van funderingsproblematiek. Raad voor de Infrastructuur en Leefomgeving.
Rodríguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter (and what to do about it). *Cambridge journal of regions, economy and society*, *11*(1), 189-209.
Rovers, V. (2024). *Schatting van de elektriciteitsvraag van airconditioners in Nederlandse woningen*. TNO.
Spanjar, G., Bartlett, D., Schramkó, S., Kluck, J., van Zandbrink, L., & Föllmi, D. (2020). Intervention catalogue (Issue September).
Stadt Münster (2014, november 26). *Bilanz der Regenkatastrophe*. https://www.presse-service.de/data.aspx/static/895362F.html.
STOWA (2019). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019.
STOWA (2021a). Provinciale normering wateroverlast. Hoe toekomstbestendig is de huidige aanpak en werkwijze?
STOWA (2021b). Verzekeren van overstromingsschade en schade door wateroverlast.
Stroomversnelling (2016). Klimaatadaptatie in een Stroomversnelling.
TAUW & Arcadis (2022a). Bouwstenen Maatlat groene klimaatadaptieve gebouwde omgeving.
TAUW & Arcadis (2022b). Maatlat Groene klimaatadaptieve gebouwde omgeving.
ten Brinke, N., Kruijf, J. V. D., Volker, L., & Prins, N. (2022). Mainstreaming climate adaptation into urban development projects in the Netherlands: private sector drivers and municipal policy instruments. *Climate Policy*, *22*(9-10), 1155-1168.

Teun, T., Jan, H., Ruud, H., & Cor, J. (2019). Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel. HKV.
Theeuwes, N. E., Steeneveld, G., Ronda, R. J., & Holtslag, A. A. M. (2017). A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *International Journal of Climatology*, *37*(1), 443–454.
TNO (2024). R10424 Herijking klimaatrisico's Huidige impacts en risico's.
Tweede Kamer (2024, juni 11). *Funderingsschade aan woningen*.
van den Born, G., F. Kragt, D. Henkens, B. Rijken, B. Van Bemmel, S. Van der Sluis, N. Polman, E.J. Bos, T. Kuhlman, C. Kwakernaak et al. (2016). *'Dalende bodems, stijgende kosten: mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied: beleidsstudie'*. Planbureau voor de Leefomgeving.
van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R., & de Dear, R. J. (2006). Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands: A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings*, *38*(1), 8–17. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.008
van der Linden, S. (2015). The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: Towards a comprehensive model. *Journal of Environmental Psychology*, *41*, 112-124.
van der Meulen, M. J., van der Spek, A. J., de Lange, G., Gruijters, S. H., van Gessel, S. F., Nguyen, B. L., ... & van der Krogt, R. A. (2007). Regional Sediment Deficits in the Dutch Lowlands: Implications for Long-Term Land-Use Options (8 pp). *Journal of Soils and Sediments*, *7*(1), 9-16.
van der Strate, E., de Groot, M., Mesdaghi, B., Kluck, J., de Vries, S., Solcerova, A., Corpel, L., van Walsum, R., Goetgeluk, R., Damen, M., de Nijs, T., & Hagens, W. (2022). Handreiking hitte in de bestaande woningen . In een hulpmiddel en overzicht voor gemeenten en woningbouwcorporaties bij het aanpakken van hitte in woningen . Nationaal Kennis- en innovatieprogramma Water en Klimaat .
van Dorland, R., Beersma, J., Bessembinder, J., Bloemendaal, N., van Den Brink, H., Brotons Blanes, M., ... & van der Wiel, K. (2023). KNMI national climate scenarios 2023 for the Netherlands. *Report WR23-02, KNMI*, *605*.
van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J. L. M., & Timmermans, H. J. P. (2014). On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. Building and Environment, 82, 300–316. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.027
van Hove, B., Jacobs, C., Heusinkveld, B., Hartogensis, O., Ronda, R., Brolsma, R., Klok, L., Schrijvers, P., & Hutjes, R. (2014). Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden en hoe beïnvloedt stedelijke inrichting het lokale klimaat? In V. Rovers, P. Bosch, & R. Albers (Eds.), Eindrapport Climate Proof Cities (pp. 11–32). https://research.wur.nl/en/publications/climate-proof-cities-eindrapport-2010-2014
Verbond van Verzekeraars (2018). *Adviesrapport overstromingen*.
Verbond van Verzekeraars (2025a). Infographic verzekerbaarheid klimaatrisico's.
Verbond van Verzekeraars (2025b). Klimaatschademonitor.
Vries, S. de, Mesdaghi, B., Hagens, W., de Nijs, T., & Kluck, J. (2021). Bureaustudie rondom de invloed van omgevings- en gebouwkenmerken op hitte in de woning.
Vroonman, C., Boelhouwer, J., Iedema, J., van der Torre, A. (2023). *Eigentijdse ongelijkheid*. Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP).
Wang, X., Li, H., & Sodoudi, S. (2022). The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. Building and Environment, 217, 109082. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082
Waterschap Limburg (2025a). Schade beperken in je eigen woning - Waterschap Limburg.
Waterschap Limburg (2025b). Stedelijk/bebouwd gebied - Waterschap Limburg.
Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2025). Mens en klimaat. De kracht van sociale infrastructuur bij adaptatie.

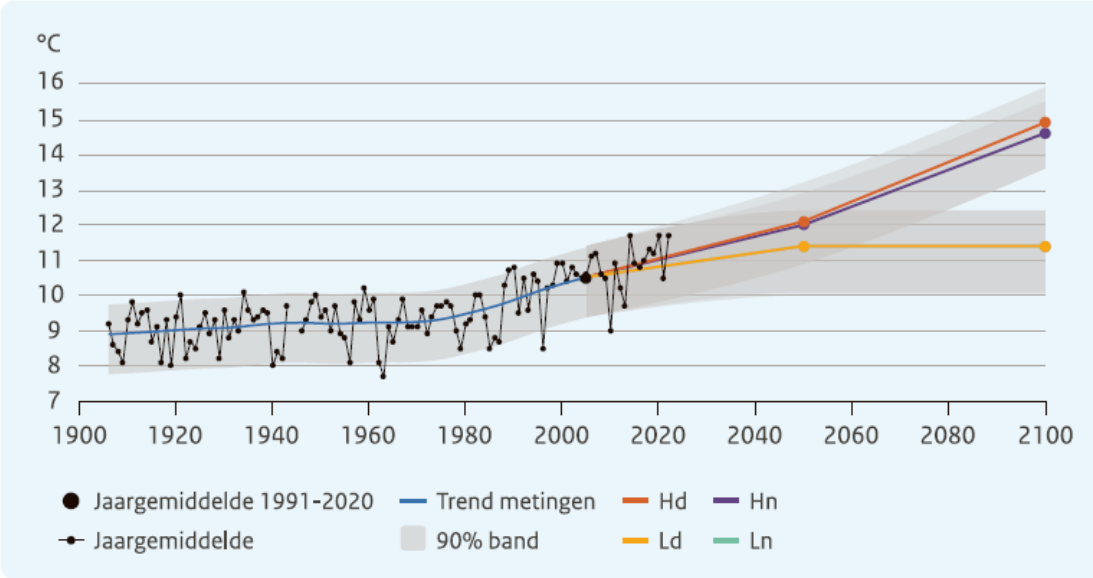
Bijlage A Kalibratiestudie gebouwsimulatiemodel

In een eerder project RAAK Hitte in de Woning is door de Hogeschool van Amsterdam en W/E adviseurs de basis gelegd voor het thermische gebouwsimulatiemodel. Dit model is in dat project gevalideerd en de model aannames zijn gekalibreerd middels vergelijkingen met een monitoringsstudie. In die monitoringsstudie zijn binnenluchttemperaturen in verschillende appartementen bemeten en zijn gebruikersgedragingen bijgehouden in een logboek. Figuur 0.1 toont resultaten van die validatiestudie waar simulatieresultaten worden vergelijken met metingen.



Figuur 0.1 Resultaten van een validatie- en kalibratiestudie door de Hogeschool van Amsterdam en W/E adviseurs. In de TNO-impact studie zijn deze modellen meer algemeen toepasbaar gemaakt en als basismodel gebruikt in de impactstudie.

Bijlage B Toelichting op selectie van klimaatjaren

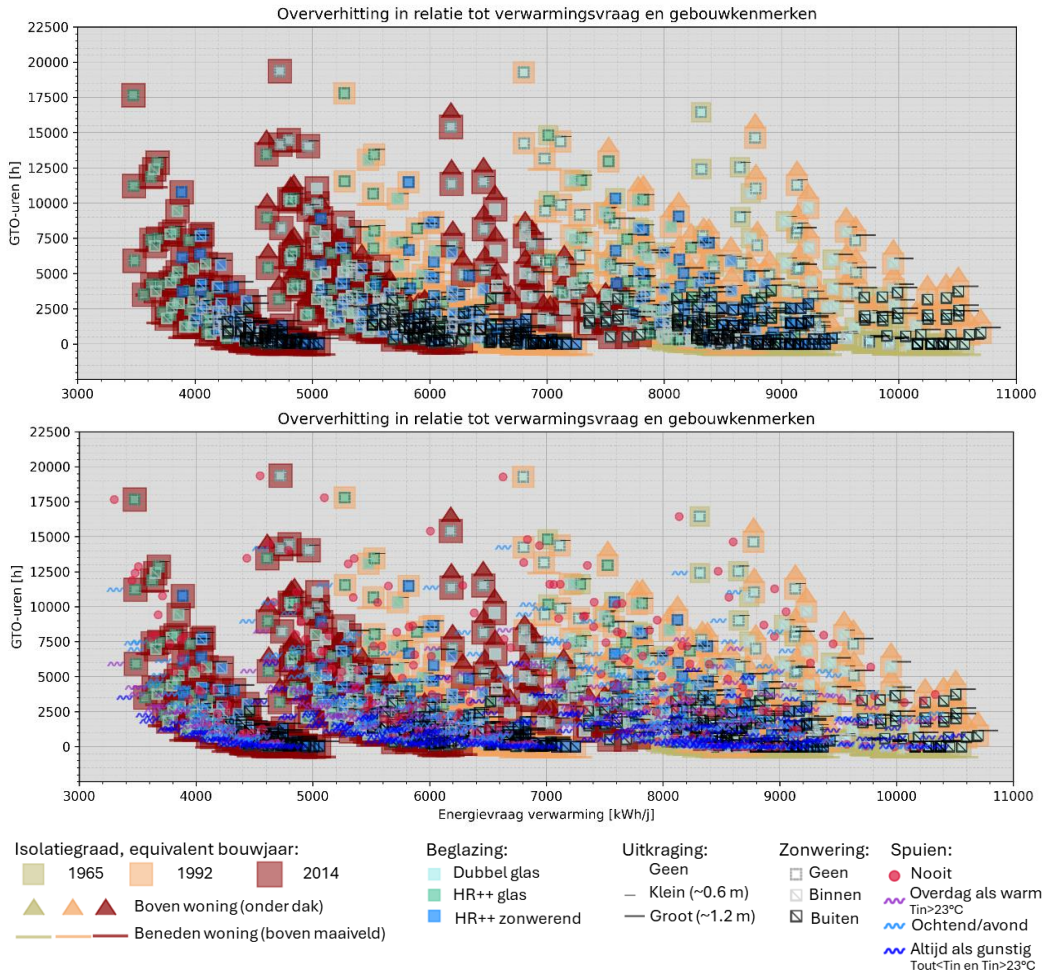


Figuur 7. Gemiddelde jaartemperatuur, landelijk gemiddeld: waarnemingen (zwart) en de vier KNMI'23-klimaatscenario's (2050 en 2100, in drie kleuren (Ln en Ld vallen samen)).

Figuur 0.2 Gemiddelde jaartemperatuur, landelijk gemiddeld: waarnemingen (zwart) en de vier KNMI-klimaatscenario's. Ld en Ln vallen samen in de grafiek. Te zien is dat in de L scenario's er na 2050 geen verdere opwarming plaatsvindt. Omdat er voor 2050 geen uurlijksegegevens beschikbaar zijn voor de L scenario's, maar wel voor het jaar 2100 zullen in deze impactstudie de gegevens voor 2100 gebruikt worden als zijnde representatief voor 2050Ln. Deze aanname is besproken met het KNMI en door hen bevestigt als valide.

Bijlage C Temperatuuroverschrijdingen van individuele woningvarianten

Figuur 0.3 laat zien in welke situaties de grootste oververhitting optreedt. De grafiek toont voor iedere gebouw- en gedragsvariant het aantal GTO-uren uitgezet tegen de energievraag voor verwarming in de winter. De energievraag wordt hier vooral gebruikt ter verificatie en om de varianten herkenbaarder te kunnen plaatsen in de grafiek. De grafiek toont simulaties met het huidige klimaat van de Bilt.



Figuur 0.3 Gebouw simulatie resultaten. Ieder icoon in de grafiek is een unieke gebouw- en gedragsvariant. De getoonde resultaten zijn voor het huidige klimaat in de Bilt zonder SHE.
Boven: alleen de gebouw kenmerken. **Onder:** inclusief ook het spuigedrag.

De grafiek geeft inzicht in welke specifieke combinaties van eigenschappen leiden tot oververhitting in het heden. Specifiek ongunstige situaties zijn:

- Woningen met een hoge zontoetreding (geen zonwerende maatregelen). Een uitkraging en zonwerend glas zijn gunstig maar niet altijd voldoende.
- Woningen waar onvoldoende geventileerd wordt (ramen altijd dicht of alleen open in de ochtend/avond)
- Boven woningen. In deze woningen vindt ook zontoetreding door het dak plaats.
- Goed geïsoleerde woningen wanneer dit gepaard gaat met ongunstig ventilatiegedrag.

Bijlage D Onzekerheid en betrouwbaarheid

Het klimaat is lastig te voorspellen, en het rekenen met klimaatcijfers gaat daarom veelal gepaard met aannames en onzekerheidsmarges. Ook binnen deze rapportage hebben wij gebruik gemaakt van enkele aannames. Aannames die wij zelf hebben gedaan, maar ook aannames van andere partijen, doordat we soms gebruik hebben gemaakt van externe data (onder meer data onttrokken uit de Klimaateffectatlas (CAS, 2025). Onderstaand overzicht toont de aannames die genomen zijn voor de verschillende analyses binnen deze rapportage.

Kaart bodemdaling

Het gaat bij de bodemdalingskaarten om de voorspelde bodemdaling in de toekomst door de Geologische Dienst Nederland. Dit is grotendeels gebaseerd op de huidige grondwaterstanden, de samenstelling van de bodem en toekomstige klimaatscenario's. Enige veranderingen hierin kunnen ertoe leiden dat de dalingssnelheden anders uitvallen. Dit geldt voor alle scenario's en periodes.

Kaart blootstelling bodemdaling

Voor deze kaart maken we gebruik van het Bestand Bodemgebruik (BBG) uit 2017, gepubliceerd door het CBS. Recentere versie waren niet beschikbaar. We gaan ervan uit dat het bodemgebruik gedurende deze periode niet aanzienlijk is veranderd, waardoor het niet een al te grote invloed zou moeten hebben op de nauwkeurigheid van onze analyse.

Kaart blootstelling – doorlaatbaarheid

Om een indicatie te geven van de doorlaatbaarheid is gebruik gemaakt van de kaart 'Basiskaart Natuurlijk Systeem Nederland Hoofdklasse' uit de Klimaateffectatlas. De elf hoofdklassen zijn onderverdeeld naar drie gradaties in doorlaatbaarheid van de bodem; hoog, middel, en laag. Hierbij is de aanwezigheid en verhouding van veen, zand of klei in ogenschouw genomen. Op basis hiervan is aan elke hoofdklassen de doorlaatbaarheid toegekend.

Toekenning van hoofdklassen natuurlijk systeem aan mate van doorlaatbaarheid:

- Hoog: 'Strandwallen en binnenduinrand', 'Rivierterrassen', 'Stuwwallen', en 'Dekzandgebied'
- Middel: 'Laagveen', 'Voormalige hoogvenen', en 'Heuvelland en lossgebied'
- Laag: 'Zeekleipolders', 'Droogmakerijen en IJsselmeerpolders', 'Rivierengebied', en 'Keileemgebied'

Dit maakt dat deze kaart slechts indicatief is op landelijk niveau. Het geeft een eerste inzicht in gebieden waar water mogelijk sneller of langzamer in de bodem infiltreert. Dit geeft een indicatie van de duur van wateroverlast na piekbuien, wanneer dit enkel vanuit de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt bekeken.

Kaart impact – aandeel panden getroffen door acute wateroverlast

Om een indicatie te geven van het aantal panden die getroffen worden bij piekbuien zijn de volgende stappen genomen en daarbij is gebruik gemaakt van de getoonde kaartlagen.

Voor deze analyse hebben we de volgende aannames genomen:

- Panden worden getroffen door wateroverlast bij een waterdiepte van 20 cm binnen 2 meter van het pand.
- Als een deel van een pand binnen de buffer van twee meter ligt, geldt het gehele pand als getroffen door wateroverlast.

Kaarten sociale kwetsbaarheid (sociaaleconomische status)

Om een indicatie te geven van de relatie tussen het aandeel getroffen panden en de sociale status van bewoners is allereerst gebruik gemaakt van de kaart met aandeel getroffen panden door acute wateroverlast uit een eerdere analyse. Deze kaart is gecombineerd met CBS-data over de Sociaaleconomische Status (SES). Beide data is op buurtniveau samengevoegd. Hierna zijn beide variabelen onderverdeeld in drie categorieën (hoog, midden en laag), zodat beide groepen gelijk verdeeld waren naar aantal buurten.

Door de groepen van beide lagen te combineren zijn negen groepen tot stand gekomen (bijv. laag – laag, midden – laag, of midden – hoog). Op basis van de hiervoor benoemde assumpties toont de categorie met een lage SES-score en een hoog aandeel getroffen panden de buurten met een hoog risico voor sociale kwetsbaarheid.

Tevens leidde de beschikbare SES-data nog tot enkele belemmeringen. Data was op buurtniveau beschikbaar. Dit heeft als voordeel dat er een duidelijke geografische spreiding toonbaar is, maar tegelijkertijd ontbrak de data voor een groot aantal buurten, wat mogelijkerwijs te maken heeft met het lage inwoneraantal van deze buurten. Het gaat immers veelal om de meer rurale buurten. Dit betekent dat de voorgaande analyse, met voorgenoemde aannames en belemmeringen is uitgevoerd op de buurten waarvoor wel data beschikbaar was. De buurten waarvoor wél data beschikbaar was omvatten ruim zeventien miljoen inwoners. Ondanks dat een groot landoppervlak niet mee wordt genomen vanwege ontbrekende data, geldt dit dus niet voor het aantal inwoners.

Impactstudie hittestress

De resultaten van de impactstudie naar hittestress in woningen zijn gebaseerd op een uitgebreide simulatiestudie waarin klimaatverandering, gebouwkenmerken, bewonersgedrag en adaptatiemaatregelen systematisch zijn gevarieerd. Deze aanpak biedt inzicht in de orde van grootte van het probleem en de relatieve effectiviteit van maatregelen, maar gaat gepaard met verschillende bronnen van onzekerheid.

Een belangrijke onzekerheid betreft de gebruikte klimaatscenario's en klimaatjaren. Voor de toekomstprojecties is gebruikgemaakt van representatieve KNMI-klimaatjaren voor het heden en voor 2050, in zowel een beperkt als een sterk risicoverhogend scenario. Daarnaast is gebruikgemaakt van uurlijkse weerdata uit meerjarige KNMI-weersimulaties, waarbij door de KNMI per zichtjaar één 'warm' representatief jaar is geselecteerd op basis van de hoogste tweewekelijkse temperatuursom. Voor oververhitting in gebouwen is echter de volledige zomerperiode relevant en speelt ook zoninstraling een belangrijke rol. Het geselecteerde jaar is daardoor niet per definitie het jaar met de grootste mate van oververhitting, wat vooral bij vergelijkbare scenario's kan leiden tot variatie in de resultaten.

Ook de modellering van het stedelijk hitte-eilandeffect (SHE) introduceert onzekerheden. In de studie is gewerkt met discrete SHE-klassen (0°C, 3°C en 5°C), gekoppeld aan de RIVM-kaart voor het toekennen van woningen aan deze klassen. Deze vereenvoudigde benadering is niet gevalideerd met metingen en abstraheert van lokale ruimtelijke en temporele variatie.

Daarnaast vormt de representativiteit van het referentiegebouwmodel een onzekerheidsfactor. De impactstudie richt zich uitsluitend op meergezinswoningen, omdat deze gemiddeld het meest gevoelig zijn voor oververhitting. De resultaten zijn daardoor niet zonder meer te vertalen naar andere woningtypen, hoewel eerdere studies laten zien dat ook in rijwoningen substantiële oververhitting kan optreden. Verder zijn enkele gebouwkenmerken, zoals oriëntatie en het aantal te openen gevels, niet expliciet gevarieerd in de simulaties, maar wel bekend uit eerdere studies als relevante factoren.

Een aanvullende onzekerheid hangt samen met de statistieken en inventarisaties die zijn gebruikt om de verdeling van gebouw- en gedragskenmerken in het woningbestand te bepalen. Voor kenmerken die niet direct uit GIS-datasets konden worden afgeleid, is op basis van beperkte steekproeven en literatuur aangenomen dat deze representatief zijn voor het huidige en toekomstige woningbestand. Ook is onzeker in welke mate bewoners en woningcorporaties autonoom adaptatiemaatregelen zullen treffen. In de studie is in het huidige beleidsscenario uitgegaan van een beperkte autonome groei van dergelijke maatregelen.

De impactstudie beperkt zich tot oververhitting en thermisch comfort. Directe gezondheidseffecten worden niet gekwantificeerd. De gebruikte comfortbeoordeling is gebaseerd op het Fanger-model, dat slechts beperkt rekening houdt met langetermijnadaptatie van bewoners. Hoewel gedragsmatige aanpassingen (zoals kleding, activiteit en raamgebruik) zijn meegenomen, zijn psychologische en fysiologische adaptatie slechts beperkt beschouwd. Het is aannemelijk dat dergelijke adaptatie in de toekomst de ervaren comfortproblemen kan verminderen, maar er bestaat momenteel geen breed gedragen adaptief thermisch comfortmodel voor Nederlandse woningen waarin deze effecten expliciet zijn opgenomen.

Het rapport laat zien dat aanvullend onderzoek nodig is om beter te identificeren welke gemeenten en regio's het meest kwetsbaar zijn voor hittestress. Deze kwetsbaarheid wordt bepaald door een samenhang van factoren, waaronder het regionale klimaat, de mate van stedelijk hitte-eilandeffect, kenmerken van de woningvoorraad, de sociaaleconomische positie van bewoners en de onderliggende volksgezondheidsopgave. Daarnaast is meer inzicht nodig

in de regionale verdeling van de lasten van hittestress en de bijbehorende adaptatiekosten. Kwetsbaarheid vertaalt zich niet automatisch in investeringscapaciteit: juist gemeenten met een relatief kwetsbare bevolking beschikken vaak over beperkte financiële en bestuurlijke ruimte om maatregelen te treffen. Om beleidsmatig effectief te kunnen sturen is het noodzakelijk deze fysieke en sociale kwetsbaarheid expliciet te relateren aan het huidige gemeentelijke en regionale beleid, evenals aan de beschikbare bestuurlijke en financiële capaciteit om maatregelen te treffen. Vervolgonderzoek zou daarom moeten kwantificeren welke gemeenten structureel aanvullende ondersteuning nodig hebben en welke extra inzet en financiële middelen daarvoor noodzakelijk zijn. De data en analyses uit de impactstudie naar hittestress bieden hiervoor een geschikt vertrekpunt, maar vragen om verdere verdieping en koppeling aan beleids- en bestuurskundige analyses, zodat gerichte ondersteuning en differentiatie in beleid mogelijk wordt.

ICT, Strategy & Policy

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl

TNO innovation for life