



In hoeverre kan de institutionele belegger hittestress in haar woningportefeuille tegengaan?

*Afstudeeronderzoek naar efficiënte hittestressmaatregelen om hittestress
in de woningportefeuille van een institutionele belegger tegen te gaan*

Y.P. (Yannick) van Coevorden
Master of Science in Real Estate (MSRE) | Amsterdam School of Real Estate

In hoeverre kan de institutionele belegger hittestress in haar woningportefeuille tegengaan?

Afstudeeronderzoek naar efficiënte hittestressmaatregelen om hittestress in de woningportefeuille van een institutionele belegger tegen te gaan

Amsterdam School of Real Estate

Scriptie ter afronding van de Master of Science in Real Estate (MSRE)

Auteur

Y.P. (Yannick) van Coevorden

Begeleiders

1^e beoordelaar: dr. F.P.W. (Frans) Schilder

2^e beoordelaar: drs. A.R. (Arthur) Marquard

Datum

28 maart 2022

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie als afronding van de studie *Master of Science of Real Estate (MSRE)* aan de Amsterdam School of Real Estate (ASRE). Ik heb deze studie met veel plezier gevolgd en ben trots op deze scriptie als eindresultaat.

Deze scriptie markeert tevens het eindstation van mijn studieroute vanaf het VMBO, via het MBO en HBO, naar een WO-master. In het onderwijs wordt deze route de bergbeklimmers route genoemd. Met de volwaardige steun van mijn directe omgeving heb ik mijn potentie tot uiting kunnen laten komen. Hopelijk motiveert mijn scriptie anderen om ook een persoonlijke berg te kiezen en deze te beklimmen.

Nu het einde van de MSRE studie in zicht is wil ik allereerst mijn werkgever a.s.r. real estate bedanken voor het vertrouwen en de geboden mogelijkheid om deze mooie en leerzame studie te mogen volgen. Als organisatie heeft a.s.r. real estate de ontwikkeling van haar medewerkers hoog in het vaandel staan, hierdoor heb ik één van de beste en hoog aangeschreven vastgoedopleidingen heb mogen volgen. De opleiding heeft mij veel gebracht. Naast inhoudelijke kennis heeft het mij ook persoonlijk ontwikkelt, dat is iets waar ik altijd profijt van zal blijven hebben.

Tijdens het schrijven van mijn scriptie hebben de gesprekken met mijn begeleider Frans Schilder ervoor gezorgd dat tijdens het onderzoek de juiste stippen aan de horizon gezet konden worden. Daarnaast hebben deze gesprekken mij veel energie en motivatie gegeven om het onderzoek steeds een stap verder te brengen. Hiervoor ben ik hem zeer dankbaar.

Het volgen van de MSRE opleiding heeft de afgelopen jaren veel van mijn omgeving gevraagd. Met het studeren in de avonden en weekenden waren er soms periodes waarin er weinig vrije tijd over was. Via deze weg wil ik mijn vriendin Charlotte enorm bedanken voor de ruimte, het geduld en motivatie om deze studie succesvol te volbrengen. Ik kijk uit naar een periode zonder studeren. Nieuwe uitdagingen komen vanzelf op mijn pad, want uitgeleerd ben je nooit.

Yannick van Coevorden
Zoetermeer, 28 maart 2022

Samenvatting

De aanleiding van dit onderzoek is dat wij in Nederland steeds vaker te maken hebben met zomerse dagen voortkomend uit klimaatverandering. Het doel van dit onderzoek is inzicht te geven in de problematiek omtrent hittestress in woningbouw en het ten behoeve van de institutionele belegger aanbevelen van efficiënte maatregelen. De aanbevelingen en maatregelen hebben als doel het tegengaan van hittestress in het woningbezit van de institutionele belegger waardoor hitteproblematiek niet ten koste gaat van de huurderstevredenheid. Het onderzoek wordt gezien als een interventie om de bestaande praktijksituatie omtrent hittestress in woningen te veranderen door efficiënte maatregelen in kaart te brengen. Het onderzoek resulteert in aanbevelingen t.b.v. de institutionele woningbelegger om hittestress in haar woningportefeuille tegen te gaan.

De centrale vraag in dit onderzoek luidt:

“In hoeverre kan de institutionele belegger hittestress in haar woningportefeuille tegengaan?”

Om tot beantwoording van de hoofdvraag te komen zijn allereerst verschillende theorieën en onderzoeksresultaten bestudeerd en beschreven op het gebied van hittestress in woningbouw. Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat de grenswaarde voor een comfort ervaring in een woning ligt tussen een binnentemperatuur van 24 - 27°C. Daarbij wordt een slaapkamer het liefst maximaal rond de 24°C gehouden.

In het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat het Nederlands recht geen wettelijk getalsmatige norm voorschrijft voor maximale binnentemperaturen in woningen. Ook de Huurcommissie schrijft niets voor over een maximale binnentemperatuur. In eerdere gerechtelijke uitspraken is een temperatuuroverschrijding van 26,5°C voor een duur van 300 uur of langer aangehouden. Tevens is uit het theoretisch onderzoek naar voren gekomen dat wanneer er geen voorziening in de woning aanwezig is om het thermisch comfort te reguleren, dan kan dit door de rechter als gebrek worden beoordeeld.

Vervolgens is er theoretisch onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om hittestress in woningbouw te voorkomen. Om de bevindingen uit de theorie te toetsen is een kwalitatief onderzoek uitgevoerd onder institutionele woningbeleggers en experts. De resultaten van het theorie- en praktijkonderzoek hebben de volgende bevindingen opgeleverd.

Het klimaat rondom de woning	Vergroenen / creëren van (natuurlijke) schaduw
Beglaasde geveldelen van de woning	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen van de woning	Verhogen van de albedo waarde (reflectie)
Koeltechnieken t.b.v. een woning	Natuurlijke nachtventilatie

Na het vaststellen van de effectiefste maatregelen, zijn de parameters onderzocht waarop beleggers een investeringsbeslissing kunnen nemen om de effectiefste hittestress maatregelen in de woningportefeuille te implementeren. In dit onderzoek is als analysetechniek gebruik gemaakt van de Discounted Cash Flow-methode. Vastgesteld is dat de institutionele woningbelegger op basis van een aantal strategieën een hittestressmaatregel kan doorrekenen aan haar huurders, te weten:

- Huurverhoging na woningverbetering
- Huurverhoging na mutatie
- Huurverhoging na verduurzaming
- Geen huurverhoging

Per strategie is de efficiëntste hittestressmaatregelen conform de DCF-methode doorgerekend. Na onderzoek van een viertal financiële strategieën wordt geadviseerd om de hittestress maatregelen door te berekenen via de financiële strategie “huurverhoging na woningverbetering”. Het geeft de belegger de vrijheid om, mits voldaan wordt aan de gestelde voorwaarden van woningverbetering, de kosten voortkomend uit hittestressmaatregelen door te berekenen via een huurverhoging. In tegenstelling tot de andere strategieën heeft deze strategie het voordeel dat de huurverhoging direct over alle woningen in een asset kunnen worden doorberekend en geen afhankelijkheid kent met betrekking tot de mutatiegraad en contract- en markthuurl.

In de laatste fase van het onderzoek is de financiële efficiëntie vastgesteld door de warmtereductie in Celsius af te zetten tegen de benodigde huurverhoging op basis van de strategie “huurverhoging na woningverbetering”. Middels de financiële efficiëntie is het voor de belegger inzichtelijk geworden met welke maatregel de laagste huurverhoging t.o.v. één graad warmtereductie. Uitgaande van een financiële efficiëntie dient de belegger zich bij appartementen te richten op de omgeving middels het

vergroenen en ontharden. Daarbij dient wel de kanttekening te worden geplaatst dat bij hoger gelegen woningen de natuurlijke schaduwwerking niet op gaat en deze efficiëntie naar voren komt door de beperkte hoeveelheid ten opzichte van het aantal woningen. Voor eengezinswoningen is het financieel het meest efficiënt om de beglaasde geveldelen te voorzien van zonwering/screens.

Op basis van de bevindingen zijn de volgende aanbevelingen gedaan:

- Zorgdragen dat klimaat adaptieve maatregelen een integraal onderdeel uitmaakt van het managen van woningvastgoed. Door de omgeving en het vastgoed aan te passen aan het veranderde klimaat middels klimaat adaptieve maatregelen, is de acceptatie van hogere temperaturen groter. In een markt met vraagoverschot is het voor een belegger gemakkelijk om woningen aan de man te brengen. Een ontevreden huurder door bijvoorbeeld hittestress kan niet gemakkelijk een andere woning vinden en van de een op de andere dag verkassen. Echter, ook dat tij kan keren. Zeker met de huidige toenemende aandacht vanuit de overheid naar betaalbaarheid van woningen en het verhogen van de woningbouwproductie. Een belegger moet zich er dus, ongeacht de markt, van bewust zijn dat een tevreden huurder langer blijft huren dan een ontevreden huurder.
- Draag er zorg voor dat er bij aankoop van nieuwe woningen zo veel als mogelijk wordt gestuurd op het aanbrengen van klimaat adaptieve maatregelen om hittestress in de exploitatieperiode te voorkomen. Bij nieuwbouw zijn er aan de voorkant veel mogelijkheden om een gebouw met aanpassingen hittestress bestendig te maken. Daarbij kan gedacht worden aan oriëntatie van de woning en om de woning te realiseren in een lichtere gevelkleur, te voorzien van overstekken t.b.v. natuurlijke schaduwwerking, en de zon belaste zijde te voorzien van minder glasoppervlakte of zonwering/screens.
- Geef huurders de beschikking over voelbare beïnvloeding van de binnentemperatuur in de woning. De beleving van thermisch comfort correleert namelijk het sterkst met ervaren beïnvloeding. Daarbij kan gedacht worden aan de mogelijkheid om zonwering te bedienen, ramen te openen, en ventilatiemogelijkheden om luchtsnelheid te verhogen.
- Stuur als belegger op gedragsmatige adaptatie bij huurders. Dit betekent dat je bij de huurder tips and tricks onder de aandacht brengt die zorgdragen voor veranderingen in het huurdersgedrag. Daarbij kan gedacht worden aan het aanpassen van kleding en stofwisseling, voldoende drinken. Maar ook aan het juist toepassen van natuurlijke (nacht)ventilatie, het op het juiste moment ventileren van de woning.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Afbakening	8
1.3 Probleemstelling	9
1.4 Doelstelling	9
1.5 Hoofdvraag	10
1.6 Deelvragen	10
1.7 Onderzoekmethode en het onderzoekmodel	11
1.8 Relevantie	12
1.9 Leeswijzer	12
2. Theoretisch kader	13
2.1 Impact van klimaatverandering/hittestress op een gebouw	13
2.1.1 Klimaatadaptatie	13
2.1.2 Hittestress	13
2.1.3 Hittestress in stedelijk gebied	14
2.1.4 Hittestress in woningbouw	15
2.2 Impact van hittestress op wet- en regelgeving	19
2.2.1 Jurisprudentie	19
2.2.2 Regelgeving voor nieuwbouw	19
2.2.3 Doorbelasten van hittestressmaatregelen aan huurders	20
2.3 Het tegengaan van hittestress in woningbouw	21
2.3.1 Klimaat rondom de woning	21
2.3.2 Beglaasde geveldelen van de woning	21
2.3.3 Gesloten bouwdelen van de woning (muren / daken)	21
2.3.4 Koeltechnieken t.b.v. een woning	22
3. Praktijkonderzoek	24
3.1 Onderzoeksmethodiek	24
3.2 Vastgoedbeleggers & experts	24
3.3 Resultaten	25
3.4 Bevindingen	28
4 Financiële strategieën	29
4.1 Methode financiële analyse	29
4.2 DCF-methode	29
4.3 Beoordelingscriteria	31
4.4 Strategieën	32
4.5 Efficiëntie	44

5	Conclusie	46
	5.1 Conclusie deelvragen	46
	5.2 Conclusie hoofdvraag	48
	5.2 Aanbevelingen	48
	5.3 Reflectie	49
	Bibliografie	51
	Bijlagen	62
	Bijlage 1: Klimaatverandering	62
	Bijlage 2: Klimaatadaptatie	64
	Bijlage 3: Klimaat rondom de woning	65
	Bijlage 4: Hitte-index en PMV-methode	66
	Bijlage 5: Beglaasde geveldelen van de woning	68
	Bijlage 6: Conclusie warmtemetingen beglaasde geveldelen	70
	Bijlage 7: Gesloten bouwdelen van een woning	71
	Bijlage 8: Koeltechnieken t.b.v. een woning	76
	Bijlage 9: Onderwerpen vragenlijst	81
	Bijlage 10: Vragenlijst praktijkonderzoek	82
	Bijlage 11: Gespreksverslagen praktijkonderzoek	84
	Bijlage 12: Accordering gespreksverslagen	84
	Bijlage 13: DCF-methode	85
	Bijlage 14: Voorbeeld toegepast DCF-model	87

1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksopzet besproken aan de hand van de aanleiding, probleemstelling, doelstelling, de onderzoeksvraag en bijbehorende deelvragen, onderzoeksmethode, relevantie van het onderzoek en een leeswijzer van het onderzoeksrapport.

1.1 Aanleiding

In Nederland hebben wij steeds vaker te maken met zomerse dagen. Dit als gevolg van klimaatverandering (Van den Broek, 2020). In augustus 2020 werd Nederland getroffen door een langdurige hittegolf met een reeks van 13 dagen. Dit was nog niet eerder in Nederland voorgekomen.

Gedurende de hittegolf van 2020 zijn er bij institutionele woningbeleggers vanuit huurders meldingen van hittestress ontvangen. Aangezien huurderstevredenheid hoog in het vaandel staat bij institutionele woningbeleggers (Customeyes, 2021), resulteert dit in een nieuw soort vraagstuk. De warmteklachten kwamen voort uit een relatief nieuw appartementencomplex en een verduurzaamd appartementencomplex. In de warmteklachten verzocht het merendeel van de huurders om een airco installatie. Om een appartementencomplex te voorzien van een airco installatie, ben je op slopershoogte aan het verbouwen. Dit is niet wenselijk in een appartementencomplex in verhuurde staat. Daarnaast is een airco installatie een energievreter en geen duurzame oplossing (Volkskrant, 2020). Duurzaamheid is bij een institutionele belegger prioriteit nummer één (asr real estate, 2021).

Bij de zoektocht naar het oplossen van dit vraagstuk ben ik mij gaan inlezen in hittestress. Hieruit is gebleken dat er op dit moment geen duidelijke handvatten zijn voor het tegengaan van hittestress in de exploitatie van woningvastgoed. Hieruit is door de onderzoeker geconcludeerd dat het een relatief jong thema in de vastgoedsector is.

1.2 Afbakening

Als gevolg van menselijke activiteiten ontstaan verhoogde concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer. Dit heeft tot gevolg dat er meer zonnewarmte wordt vastgehouden en het weerpatroon verandert (WWF, 2021). Als gevolg hiervan moet Nederland dus voorbereid zijn op een veranderend klimaat: van piekbuien tot lange warme droogte. Daarom moet er werk gemaakt worden van een weerbare en veerkrachtige gebouwde woonomgeving (DGBC, 2021). Een duurzaam gebouw sorteert voor op het veranderend klimaat door energiezuinig te zijn en hiermee bij te dragen aan gestelde klimaatdoelstellingen. Maar ondertussen is aanpassingen van het gebouw aan het al veranderend klimaat ook nodig.

De aanpak van klimaatverandering voor de vastgoedsector is tweeledig:

1. Transitie

De vastgoedeigenaar kan haar steentje bijdragen aan het afremmen van de klimaatverandering. Dit kan de vastgoedeigenaar doen door het energiezuiniger maken van haar bezit en zorgen dat er minder CO₂ uitstoot wordt gerealiseerd. Veel institutionele woningbeleggers zijn hiermee bezig middels verduurzamingstrajecten en hebben de intentie uit gesproken het energieverbruik van het bezit terug te dringen (Van Bijleveld, 2020).

2. Klimaatadaptatie

Stel dat we het niet allemaal binnen de perken houden, wat gaan we ertegen doen om als de klimaatverandering doorzet? Gebouwen dienen voorbereid te zijn op de klimaatverandering. Dat betreft de adaptiviteit van gebouwen, een relatief jong in het vastgoed (DGBC, 2020).

Klimaatadaptatie: Hittestress

De gevolgen van het veranderende klimaat kunnen worden onderverdeeld in 7 categorieën (DGBC, 2020). Voor dit onderzoek wordt de focus gelegd op één van de 7 categorieën, dit betreft hittestress.

Hittestress wordt door (Klimaatadaptatiebrabant, 2019) en (Ensie, 2022) omschreven als *“een aandoening veroorzaakt door extreme hitte die zich uit in diverse lichamelijke klachten”*. Als gevolg daarvan neemt de arbeidsproductiviteit en nachtrust van mensen af (Klimaatadaptatiebrabant, 2019). Op basis van verschillende klimaatscenario's neemt namelijk het aantal uren dat woon- en slaapkamers oververhit zullen zijn toe. Daarin is nog geen rekening gehouden met de energietransitie, die een grote versnelling van het isoleren van woningen met zich mee zal brengen doordat de woning de warmte langer vast blijft houden. Daardoor kan hittestress in een woning snel een groot probleem worden. Uit onderzoek van TNO blijkt dan ook dat weinig-geïsoleerde woningen uit de jaren '70 een fractie van de

overbelasting uren hebben van de beter geïsoleerde woningen die na het jaar 2000 gebouwd zijn (Bosch, 2018).

Institutionele woningbeleggers

De institutionele woningbeleggers verhuren gezamenlijk circa 230.000 woningen op de Nederlandse huurmarkt. Op basis van het aantal woningen is de institutionele woningbelegger dus een belangrijke partij in het aanbrengen van klimaatadaptatiemaatregelen op woningniveau.

Institutionele beleggers zijn daarnaast lange termijn beleggers (IVBN, 2021). Lange termijn beleggers kijken dan ook vooruit om de portefeuille toekomstbestendig te houden. Een van de punten waarnaar gekeken (dient te) worden bij het bepalen van de toekomstbestendigheid van een portefeuille, zijn megatrends. Megatrends zijn effecten die op wereldschaal effect hebben (Trends and Changes, 2021). Voor een institutionele belegger hebben megatrends impact op de rendement/risicoverhouding van de vastgoedportefeuille. Een van de megatrends is klimaatverandering (PWC, 2021).

1.3 Probleemstelling

Door diverse activiteiten van de mens komen er meer broeikasgassen in de atmosfeer terecht, dit zorgt voor de opwarming van de aarde. In Nederland steeg de temperatuur van 1901 tot heden zo'n 1,8°C. Volgens het (Kennisportaal klimaatadaptatie, 2021) ontstaat door de aanhoudende klimaatverandering een temperatuurstijging in Nederland van *"in 2050 1 tot 2,3°C warmer. In 2085 kan dit zelfs toenemen tot 3,7°C"*.

Wanneer de omgeving opwarmt, reageert het lichaam van de mens hierop. In extra warme omstandigheden kan het lichaam de warmte zelfs niet (volledig kwijt). Als gevolg daarvan stijgt de kerntemperatuur van het lichaam, wat resulteert dat het lichaam hittestress ondervindt (Dura Vermeer, 2021). Dit leidt tot een verminderd welzijn en ook tot gezondheidsproblemen. Mensen raken vermoeid en hebben o.a. concentratieproblemen. Dit zijn enkele van de kenmerken van hittestress (KNMI, 2021).

(Duurzaam Gebouwd, 2022) en (NOS, 2020) stellen dat *"mensen steeds meer gewend zijn aan de koelte van een airco of andere vormen van klimaatbeheersing. In de auto, de trein en op de werkplek is het 's zomers vaak beter uit te houden. Dan wordt de warmte in huis juist meer als een last ervaren"*. Een airco installatie is echter geen duurzame oplossing. Het meest gebruikte koudemiddel in airco's houdt 2.088 keer meer warmte vast dan CO₂ en slurpt energie. Een vicieuze cirkel dus (Driehuijs, 2020).

Uit het onderzoek *"corporaties en hittestress"* georganiseerd door de Groene Huisvesters in samenwerking met ministerie van BZK en uitgevoerd onder 170-corporatieexperts van 158 corporaties, blijkt dat bij de helft van de huurders hitte een thema is en 60% van de corporaties ontvangen klachten van huurders. Corporaties geven doorgaans adviezen aan huurders wat zij zelf kunnen doen maar de klachten leiden niet tot een structurele hitteaanpak door de woningcorporaties (Duurzaam Gebouwd, 2020). Een vergelijkbaar onderzoek onder institutionele beleggers is nog niet uitgevoerd.

Zoals uit het onderzoek onder woningcorporaties blijkt heeft hittestress tot gevolg dat huurders er ontevreden door worden en er klachten worden ingediend. Wanneer hittestress in de portefeuille van een institutionele belegger speelt, dan loopt de belegger financieel risico door op korte termijn huurdervering en op lange termijn leegstand als gevolg van onvrede over het gehuurde (Woonbond, 2019). Zoals eerder benoemd in de onderzoeksopzet speelt huurderstevredenheid een belangrijke rol bij institutionele beleggers. De huurderstevredenheid wordt benoemd in de onderzoeksopzet, maar de huurderstevredenheid wordt verder niet onderzocht in dit onderzoek.

1.4 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is inzicht te geven in de problematiek omtrent hittestress in woningbouw en het ten behoeve van de institutionele belegger aanbevelen van efficiënte maatregelen. Dit met als doel het tegengaan van hittestress in het woningbezit van de institutionele belegger waardoor hitteproblematiek niet ten koste gaat van de huurderstevredenheid over het gehuurde.

De doelstelling dient bereikt te worden middels een praktijkgericht onderzoek. Het onderzoek wordt gezien als een interventie om de bestaande praktijksituatie omtrent hittestress in woningen te veranderen door efficiënte maatregelen in kaart te brengen. Het onderzoek resulteert in aanbevelingen t.b.v. de institutionele woningbelegger om hittestress in haar woningportefeuille tegen te gaan.

1.5 Hoofdvraag

Uit bovenstaande onderzoeksopzet kan de volgende hoofdvraag worden gedestilleerd:



Figuur 1: Schematische weergave van domeindefinitie

1.6 Deelvragen

De deelvragen helpen gezamenlijk om de hoofdvraag te beantwoorden:

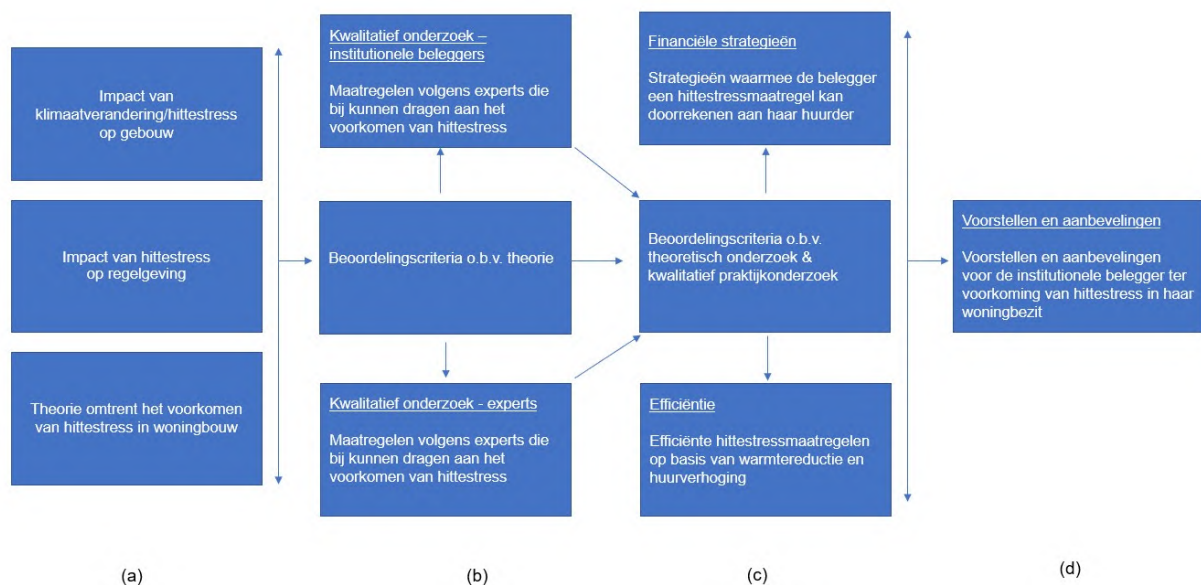
1. Wat is de impact van klimaatverandering/hittestress op gebouw?
2. Wat is de impact van hittestress op wet- en regelgeving?
3. Wat is er volgens de theorie mogelijk om hittestress in woningbouw tegen te gaan?
4. Welke maatregelen zouden volgens institutionele woningbeleggers en experts bij kunnen dragen aan het tegengaan van hittestress in woningen?
5. Met welke financiële strategieën kunnen hittestress maatregelen worden doorberekend?
6. Wat zijn de meest efficiënte hittestressmaatregelen op basis van warmtereductie en benodigde huurverhoging?

1.7 Onderzoeksmethode en het onderzoeksmodel

De onderzoeksmethode betreft een exploratief onderzoek. Het betreft namelijk een verkennend onderzoek naar efficiënte maatregelen om hittestress in woningen tegen te gaan. Aangezien het een jong thema is er geen scherp toegespitste theorie voorhanden.

Het onderzoek wordt gezien als een diagnose onderzoek waarbij er onderzoek wordt gedaan naar de aanpak van hittestress en het bestuderen van mogelijke oplossingen om het woningbezit van de institutionele belegger voor te bereiden op hittestress. Omdat klimaatadaptatie en hittestress een relatief jong thema is binnen het vakgebied ligt een kwalitatief onderzoek voor de hand. Hierbij wordt middels interviews met institutionele woningbeleggers en experts de bevindingen uit het theoretisch onderzoek getoetst. De meest efficiënte hittestressmaatregelen worden via de DCF-methode doorgerekend. Na het doorrekenen worden er een aantal financiële strategieën beschreven hoe de belegger de hittestressmaatregelen kan doorrekenen aan haar huurder. Vervolgens worden op basis van dit onderzoek de meest efficiënte hittestressmaatregelen op basis van warmtereductie en huurverhoging bepaald.

Onderzoeksmodel



Figuur 2: Onderzoeksmodel

De vier stappen in het onderzoeksmodel kunnen als volgt worden beschreven:

(a) een bestudering van verschillende theorieën en onderzoeksresultaten op het gebied van hittestress in woningbouw **(b)** levert een beoordelingscriteria o.b.v. de theorie op. Om de theorie te toetsen op de Nederlandse woningbouw wordt er een kwalitatief onderzoek uitgevoerd die tweeledig is namelijk, een kwalitatief onderzoek onder institutionele beleggers en experts. **(c)** De resultaten van beide kwalitatieve onderzoeken en het theoretisch onderzoek levert een beoordelingscriteria op. Op basis van deze criteria wordt er onderzoek uitgevoerd naar financiële strategieën om de kosten voortkomend uit de implementatie van maatregelen door te berekenen aan de eindgebruiker (huurder). Tevens wordt de efficiënte hittestressmaatregelen bepaald op basis van warmtereductie en benodigde huurverhoging **(d)** De resultaten worden verwerkt tot voorstellen en aanbevelingen ten behoeve van de institutionele belegger ter voorkoming van hittestress in haar woningbezit.

1.8 Relevantie

Wetenschappelijke relevantie

Door de aanhoudende klimaatverandering stijgt de temperatuur in Nederland (Van den Broek, 2020). Daarnaast is er in Nederland sprake van een beleidsopgave door een woningtekort (Koopmans, Ronda, & Steeneveld, 2018). De gevolgen voor het klimaat als gevolg van deze beleidsopgave is volgens (Koopmans, Ronda, & Steeneveld, 2018) dat *“De druk op de bebouwde omgeving neemt steeds meer toe dit heeft tot gevolg dat mensen meer worden blootgesteld aan het specifieke lokale klimaat in de stad”*. Overdag bedraagt het hitte-eiland effect voor de 73 grootste steden in Nederland gemiddeld 2,9°C. 's Nachts bedraagt dit effect gemiddeld 2,4°C (Klok, Schaminee, Duyser, & Steeneveld, 2012). De combinatie van de aanhoudende klimaatverandering, de beleidsopgave en als gevolg daarvan het lokale klimaat in de stad (hitte-eiland effect) zal zorgdragen voor meer hitte in Nederland.

Er is al veel onderzoek gedaan naar de oorzaken, gevolgen en maatregelen van het stedelijk hitte-eiland effect. Ook zijn er onderzoeken beschikbaar die gericht zijn op het meten van het effect van één individuele hittestress maatregelen. De wetenschappelijke relevantie van het onderzoek bestaat uit dat het onderzoek een leegte in de literatuur verwacht op te vullen door onderzoek uit te voeren met welke hittestressmaatregelen een bestaande woning zich kan aanpassen aan de toenemende hitte in Nederland. Dit komt tot stand door het tegen elkaar afzetten van meerdere hittestressmaatregelen. Dit levert een aanbeveling op het gebied van effectieve hittestressmaatregelen op. Door de maatregelen in één onderzoek tegen elkaar af te zetten en te komen tot een aanbeveling vult dit onderzoek een leegte in de literatuur op.

Maatschappelijke relevantie

Het (RVM, 2020) stelt dat als gevolg van klimaatverandering *“er meer hittegolven optreden, meer tropische dagen (>30°C) en hete nachten voorkomen”*. Maatschappelijk zal het beheersbaar houden van de leef temperatuur in de toekomst dus van groot belang zijn wat betreft de leefbaarheid in een woning.

Daarnaast zijn mensen steeds meer gewend aan de koelte van een airco of andere vormen van klimaatbeheersing (NOS, 2020). Als gevolg van deze last kunnen huurders ontevreden worden over de woning van de institutionele belegger (Woonbond, 2019). Huurderstevredenheid speelt echter een belangrijke rol bij institutionele beleggers en is daarom niet gewenst (Customeyes, 2021). Ontevredenheid van huurders kan daarnaast financiële gevolgen hebben doordat de institutionele woningbelegger huurcompensatie moet toekennen of dat er op lange termijn leegstand in het woningbezit ontstaat (Woonbond, 2019).

De oplossing voor de institutionele belegger voor de toenemende temperatuurstijging bevindt zich niet in het installeren van een airco installatie. Een airco installatie is namelijk geen duurzame oplossing (Driehuijs, 2020). Duurzaamheid is bij een institutionele belegger prioriteit nummer één (asr real estate, 2021). De institutionele belegger dient dus opzoek te gaan naar andere maatregelen om hitte in haar woningbezit te reduceren. Met dit onderzoek worden deze maatregelen onderzocht. Dit met als doel om de kans op hittestress in het woningbezit van de institutionele belegger te reduceren.

Met passende, praktische oplossingen voor hittestress in bestaande woningbouw kunnen de gevolgen van hittestress beperkt worden. Het onderzoek is afgebakend op de institutionele woningbelegger. Het onderzoek kan ook breder worden toegepast, te weten voor de gehele Nederlandse bestaande woningvoorraad.

1.9 Leeswijzer

Deze scriptie is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk twee wordt het theoretisch kader gevormd met een theoretisch onderzoek naar theorieën en onderzoeksresultaten op het gebied van hittestress in woningbouw. In hoofdstuk drie volgt een beschrijving van het uitgevoerde praktijkonderzoek onder institutionele woningbeleggers en experts. Waarna in hoofdstuk vier het theoretisch- en praktijkonderzoek samen komt via een aantal hittestressmaatregelen. Deze hittestressmaatregelen worden financieel doorgerekend via de DCF-methode en een aantal financiële strategieën. Vervolgens wordt de effectiviteit bepaald op basis van de benodigde huurverhoging en warmtereductie. Hier wordt de basis gelegd voor de beantwoording van de centrale onderzoeksvraag. Tenslotte volgen in hoofdstuk vijf de conclusies, aanbevelingen en reflectie van het onderzoek.

2. Theoretisch kader

Op basis van een uitgevoerde literatuurstudie wordt in dit hoofdstuk het theoretisch kader van dit onderzoek beschreven. In paragraaf 2.1 is onderzocht wat de impact is van klimaatverandering en hittestress op een gebouw. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 de impact van hittestress op wet- en regelgeving beschreven. Tenslotte wordt in paragraaf 2.3 beschreven hoe volgens de theorie hittestress in woningbouw tegengegaan kan worden. Voor een technische toelichting op paragraaf 2.3 wordt verwezen naar de bijlagen.

2.1 Impact van klimaatverandering/hittestress op een gebouw

Door het in deze paragraaf uiteenzetten van klimaatadaptatie, hittestress en het effect van hittestress in stedelijk gebied en woningbouw wordt antwoord gegeven op de impact van hittestress op een gebouw. Een steeds vaker voorkomend fenomeen als gevolg van klimaatverandering.

2.1.1 Klimaatadaptatie

De omgeving aanpassen en voorbereiden op de gevolgen van het veranderende klimaat heet klimaatadaptatie (Rijksoverheid, 2021). Uit onderzoek van (De Dear, Brager, & Cooper, 1997) (Nikolopoulou, 2004) is vastgesteld dat *“de acceptatie van hogere temperaturen groter is wanneer de adaptiemogelijkheden groter zijn”*.

Uit onderzoek van (De Dear, Brager, & Cooper, 1997) blijkt dat *“het van belang is dat mensen beschikken over merkbare beïnvloeding”*. Het onderzoek van (Paciuk, 1989) bevestigt dit met *“het thermisch comfort het sterkst correleert met ervaren beïnvloeding”*.

Uit onderzoek van het (RVO, 2012) blijkt dat *“In tussen- en buitenruimtes blijkt dat mensen een veel grotere spreiding in temperatuur accepteren dan zij in binnenruimtes zouden doen. Ook is de acceptatie voor hogere temperaturen sterk, naarmate de omgeving minder geconditioneerd is”*.

In bijlagen 1 en 2 wordt een nadere toelichting gegeven over klimaatverandering en klimaatadaptatie.

2.1.2 Hittestress

Zoals geconstateerd leidt klimaatverandering tot meer extremen in het weer, waaronder meer hittegolven. Uit onderzoek van (TNO, 2021) blijkt dat *“als men zich niet voorbereidt op klimaatverandering, dan heeft dit invloed op de gezondheid van mensen doordat er hittestress optreedt”*. Onderzoek van het (KNMI, 2015) geeft aan dat *“wanneer de buitentemperatuur langdurig boven de 25°C is, beginnen mensen last te krijgen van de hitte.”* Uit het onderzoek van het (KNMI, 2015) blijkt tevens dat *“hittestress wordt verstrekt door hoge temperaturen s 'nachts, waardoor mensen niet uitrusten”*.

In het rapport *‘Data-analyse sterfte bij Hitte’* wordt er gerapporteerd over het onderzoek naar over mortaliteit. Dat is het percentage mensen dat extra overlijdt op dagen waarop het gemiddeld warmer is dan 20°C. Als vuistregel wordt gehanteerd: elke graad Celsius boven een gemiddelde buitentemperatuur van 20°C veroorzaakt acht hittedoden per dag. Echter blijkt uit het rapport dat er meer factoren van invloed zijn. Naast de temperatuur wordt er ook een onderscheid gezien tussen korte en lange hitteperiodes. Met name bij een duur van tien dagen is er een omslagpunt, na dit omslagpunt vallen er meer slachtoffers. Hoe dit komt is niet nader onderzocht in het onderzoek. Het onderzoek stelt afsluitend dat bij ongewijzigde temperatuurscenario's in 2050 tussen de 1.500 en 3.000 mensen door hitte zullen sterven. Oorzaak van de stijging in over mortaliteit is een toename van meer hete dagen en vergrijzing. (Huizinga & Kolen, 2019) Een kanttekening op het rapport *‘Data-analyse sterfte bij Hitte’* is dat deze zich richt op het effect van de buitentemperatuur. Echter wordt de mens ook binnen blootgesteld aan hitte en is de omgeving bepalend.

Thermisch comfort in een woning

Uit jaarlijks onderzoek in Amerika, in opdracht van de Building Owners and Management, blijkt dat klachten over hitte in de top twee van klachten staat (Stoops, 2004). Hitte heeft dan ook een belangrijke invloed op het comfortgevoel in een woning. Uit onderzoek blijkt dat de grenswaarde voor een comfort ervaring in een woning ligt tussen de 24 en 27°C voor de binnentemperatuur. Daarbij wordt een slaapkamer het liefst maximaal rond de 24°C gehouden. Voor leefruimtes geldt dat er een maximum rond de 27°C wordt ervaren als comfort (Vanwelde, 2017).

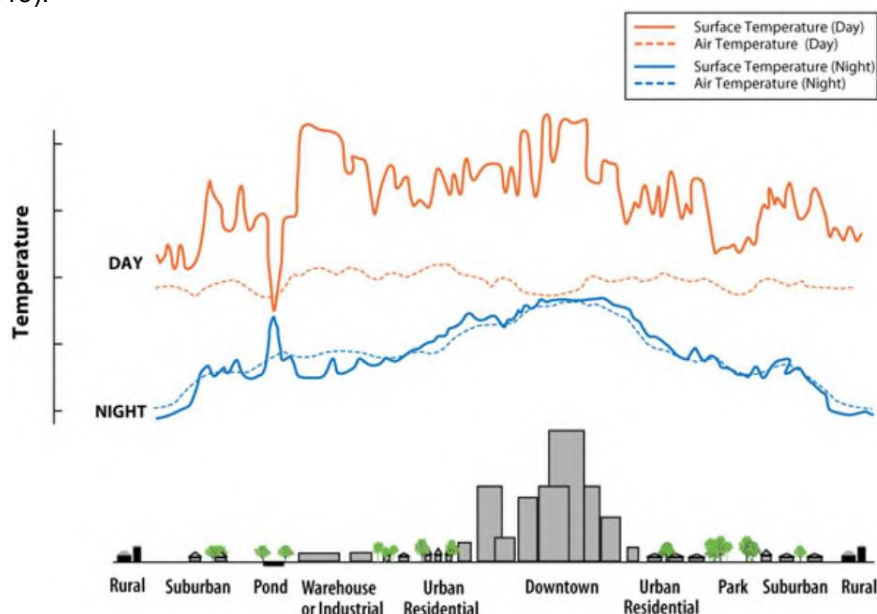
Uit onderzoek van (Brager, Paliaga, & Dear, 2004) is gebleken dat mensen hogere temperaturen accepteren als er de mogelijkheid is om het binnenklimaat te kunnen beïnvloeden. Bijvoorbeeld doordat ze de mogelijkheid hebben om ramen te openen en sluiten. In de onderzoeken van (Merghani, 2004) en (RVO, 2012) is onderzoek gedaan naar thermisch comfort. Hieruit blijkt dat *“de grootte van de woning speelt een rol in het thermisch comfort. In woningen waar in meerdere woongedeelten kan worden verbleven is gebleken dat het aantal uren dat bewoners het te warm vinden is teruggebracht van 530 naar 115 uur”*. Wanneer er wordt ingezoomd op de vertrekken in een woning, dan blijkt dat de slaapvertrekken het gevoeligst zijn voor een te warme comfortbeleving.

2.1.3 Hittestress in stedelijk gebied

Sinds 2013 voert Floris Boogaard onderzoek uit naar onder andere hoge temperaturen in stedelijk gebied. Hierbij focust hij zich met name op Groningen. Om het grote verschil in temperatuur tussen korte afstanden aan te duiden geeft Boogaard het volgende voorbeeld aan in een artikel van (ScienceGuide, 2020): *‘Als je van het centrum van Groningen naar ‘landelijk’ Haren gaat, scheelt dat echt een aantal graden. Zelfs binnen een woonwijk kun je al verschillen meten’*. Een bevestiging van de hogere temperaturen in stedelijk gebied komt vanuit een artikel van het KNMI over het stadsklimaat (Stadsklimaat, 2021): *‘Het verschil in temperatuur kan oplopen tot 4 graden voor een stad met 10.000 inwoners en 7 graden voor een stad met 200.000 inwoners.’*

Hieruit wordt vastgesteld dat bebouwing in steden invloed hebben op de hoogte van de temperatuur. Een stad vormt een hitte-eiland in het landschap. Het begrip stedelijke hitte-eilanden is in 1961 in het artikel *‘The Temperature of Cities’* geïntroduceerd door J. Murray Mitchel. Destijds was het stedelijke hitte-eiland effect al zo verbonden aan de stad, dat bij weerberichten in de jaren’60 de temperatuur als volgt werd gepresenteerd: *‘clear tonight, low temperature 40 degrees in the city and about 30 degrees in the suburbs.’* (Murray Mitchell, 1961). In het artikel uit 1961 wordt eveneens aangegeven dat het besef van hogere temperaturen echter al geruime tijd bestaat. Het hitte-eiland effect van Londen is in 1818 voor het eerst vastgelegd door Luke Howard. Sindsdien is er veel onderzoek uitgevoerd naar de stedelijke hitte-eilanden (Mills, 2008).

De stedelijke hitte-eilanden, ook wel Urban heat-islands, is een combinatie van het effect van warmteopwekking welke door de mens wordt veroorzaakt, warmtebehoud door een groter oppervlak van materialen met een laag weerkaatsingsvermogen en een hoge warmteopslagcapaciteit en warmte-insluiting door de hoge gebouwen welke relatief dicht op elkaar staan (Lee, Pietrzyk, Donkers, Liem, & Oostveen, 2013).



Figuur 3: Stedelijk hitte-eilandeffect geïllustreerd (TNO, 2011)

Figuur 3 laat zien dat er aanzienlijk luchttemperatuurverschil is tussen stedelijk en landelijk gebied. Luke Howard heeft vier oorzaken van de door hem geobserveerde verschillen in lucht temperaturen uiteengezet (Mills, 2008):

1. Menselijke warmtebronnen die zorgen voor atmosferische opwarming, met name in de winter;

2. De geometrie van stedelijke oppervlakken die straling 'vangt' en blokkeert 'gratis straling naar de lucht;
3. Het effect van stedelijke 'ruwheid' in het belemmeren van de doorgang van 'het licht zomerse wind;
4. De beschikbaarheid van vocht voor verdamping in het land.

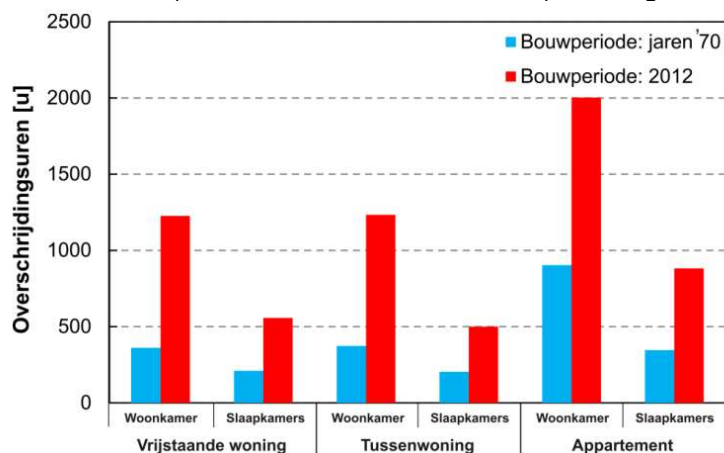
Deze vier oorzaken zijn in de loop der tijd nader gespecificeerd. Ook zijn er meerdere oorzaken vastgesteld voor het temperatuurverschil tussen stedelijk en landelijk gebied. In lijn met de door Mills (2018) benoemde tweede oorzaak hebben (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, *Hitte wordt hot*, 2018) vastgesteld dat de stedelijke bebouwing donkerder is en hierdoor minder zonlicht weerkaatst (lage albedowaarde) en meer straling absorbeert. Boezeman, et al. stellen vast dat *"door de stedelijke bebouwing is er minder plaats voor vegetatie, wat maakt dat er minder water verdampt en er meer energie beschikbaar is voor opwarming"*. Mills (2008) legt de oorzaak legt bij de afwezigheid van vocht in de stad t.o.v. Boezeman, et al. Bij een tekort aan vegetatie in de stad. Bij de vaststelling van Boezeman, et al. sluiten (Kluck J. , Klok, Loeve, Bakker, & Boogaard, 2017) zich aan. Ook Kluck et.al zien een tekort aan vegetatie als oorzaak van het stedelijke hitte-eiland. Hieruit wordt geconcludeerd dat een te kort aan vegetatie in de stad één van de oorzaken is van het luchttemperatuurverschil tussen stedelijk en landelijk gebied. Met uitzondering van de vierde oorzaak, sluiten de overige drie oorzaken aan bij de vaststelling van Mills (2008) en Boezeman, et al. (2018) De belangrijkste oorzaken komen overeen in beide onderzoeken.

2.1.4 Hittestress in woningbouw

Het buiten houden van overtollige warmte kan hoofdzakelijk door het gebouwoontwerp zelf worden gerealiseerd. De aspecten die hierbij een belangrijke factor hebben, zijn onder andere het type woningbouw, oriëntatie, de beglazing, de warmte-isolatie, en de thermische massa (Kerckhove, 2011). In deze paragraaf worden deze factoren die hittestress in woningbouw beïnvloeden nader toegelicht.

Invloed van type woningbouw

Het onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) heeft zich gericht op vrijstaande woningen, tussenwoningen (rijwoning) en appartementen. In dit onderzoek zijn er gedurende het jaar simulaties uitgevoerd die inzicht geven in de behaalde binnentemperaturen per type woningbouw. Uit dit onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) kan geconcludeerd worden *"dat grondgebonden woningen minder vaak last hebben van oververhitting dan appartementen"*. Het onderzoek van (Rovers, Bosch, & Albers, 2014) bevestigt dit.



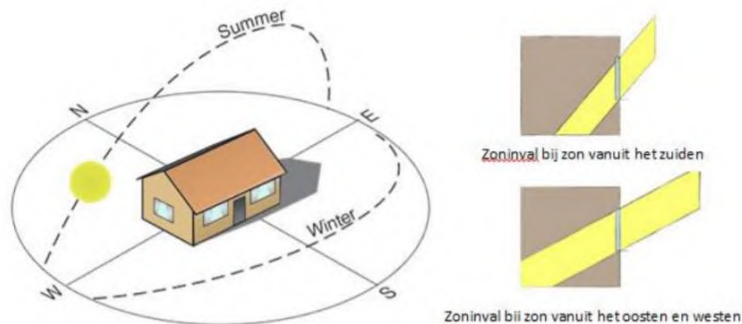
Figuur 4: Jaarlijks aantal oververhittingsuren voor drie typen woningen (jaren '70/2012) (Rovers, Bosch, & Albers, 2014)

Invloed van oriëntatie en beglazing

In de winter kan de zon nuttig worden gebruikt om de woning op te warmen. Hiermee rekening houdend kan thermisch gezien de keuken en woonkamer het best op het zuiden gericht zijn. Zo is er aanzienlijke zonnewinst te behalen tijdens de winter (Kerckhove, 2011).

De situering van een woning is echter ook een bepalende factor voor hittestress in de zomer. Uit onderzoek van (Rovers, Bosch, & Albers, 2014) blijkt dat *"wanneer er ramen op het oosten en westen zijn gesitueerd, zorgt dit voor een toename in oververhittingsuren. Dit komt door de hogere stand van de zon tijdens de zomer, waardoor er s 'morgens en s 'avonds meer zonnestraling de woning binnen"*

kan komen". Uit het artikel van (Bracke, 2018) blijkt dat "de zonnestralen via het glas een woning binnenkomen en als warmte worden opgeslagen in materialen".



Figuur 5: Weergave van de zoninval (Rovers, Bosch, & Albers, 2014)

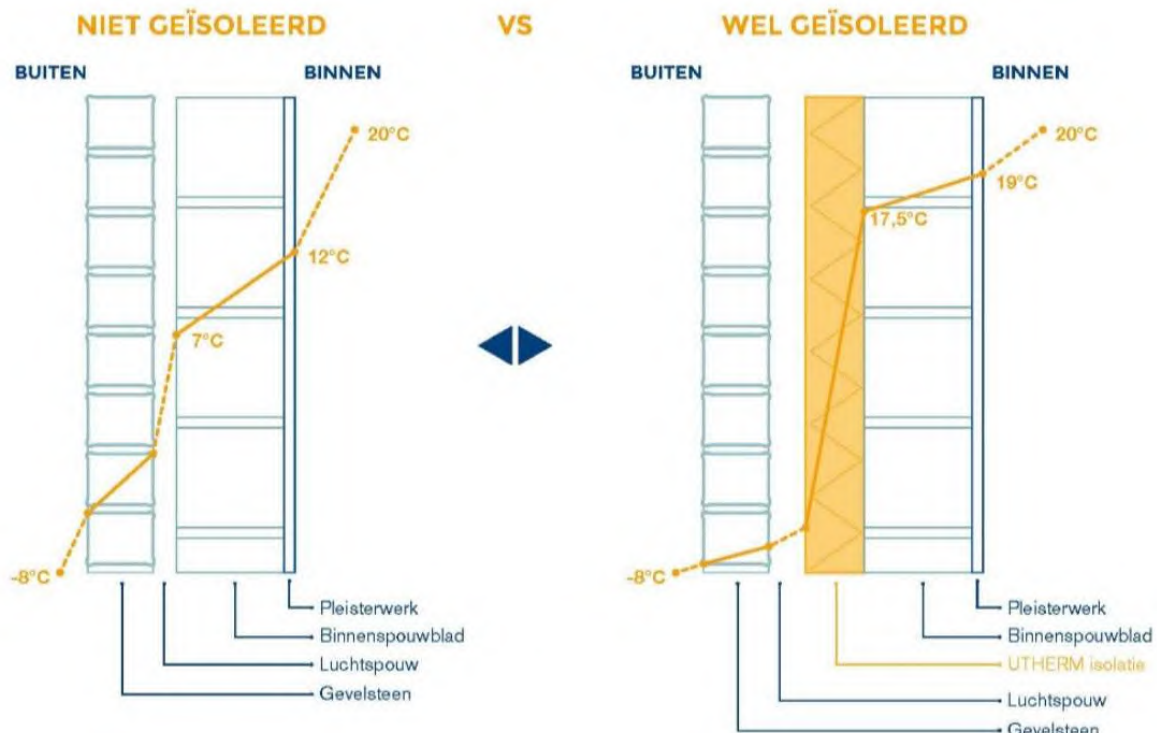
Daarnaast blijkt uit het artikel van (Bracke, 2018) dat "beglazing in een hellende stand vangt meer uren zonlicht op dan verticale beglazing. Tevens hoe hoger het raam is gelegen, hoe kleiner de kans op schaduw van de omgeving".

Door het (Ministerie van BZK, 2018) is onderzoek uitgevoerd naar het effect van grotere ramen met een oriëntatie op het Zuidwesten. Uit dit onderzoek is geconcludeerd dat grotere ramen op het Zuidwesten leiden tot hogere temperaturen in de woning (Ministerie van BZK, 2018). Dit wordt ook bevestigd in het onderzoek van (Persson, Roos, & Wall, 2005) en is ook te verklaren door de eerste vaststelling van (Bracke, 2018).

De oriëntatie en grootte van de beglazing van een woning zijn dus een belangrijke factor. Enerzijds in het reduceren van de warmtevraag in de winter, maar ook één van de oorzaken tot hittestress in de zomer.

Invloud van warmte-isolatie

Volgens (Bouwformatie, 2012) zijn "vanaf 1975 de eerst eisen gesteld aan warmteweerstand van gevels en daken". Doordat er eisen aan de thermische prestatie van de schil van een gebouw werden gesteld, verbeterde de thermische isolatie en kierdichting van een woning. Deze verbeteringen verhoogt echter de kans op te hoge binnentemperaturen in een woning (RVO, 2018).

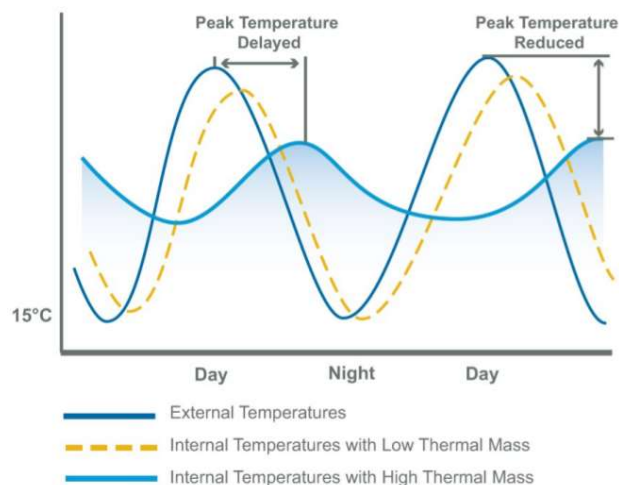


Figuur 6: illustratie van het temperatuurverschil tussen een niet geïsoleerde woning en een wel geïsoleerde woning (Unilin Insulation, 2021)

Uit figuur 6 blijkt dat moderne huizen (bouwperiode 2012 en dus beter geïsoleerd) sneller opwarmen dan oudere huizen (bouwjaar jaren '70). De moderne woningen hebben ongeveer 3x zoveel overschrijdingsuren. Er is dus een samenhang tussen de mate van isolatie en hitteoverlast. Deze samenhang wordt bevestigd in het onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) wordt aangegeven dat *“een ongewenst effect van toenemende isolatieniveaus is dat wanneer er tijdens de zomer (warme dagen) een hogere binnentemperatuur wordt bereikt, deze ook een langere periode blijft hangen dan bij een lagere thermische weerstand, hierdoor is er meer warmteoverdracht mogelijk”*.

Invloed van thermische massa

In de gebouwde omgeving wordt met het begrip 'thermische massa', de capaciteit voor het opslaan en afstaan van warmte genoemd. Het effect dat wordt bedoeld met thermische massa wordt in de praktijk veroorzaakt door de warmtecapaciteit. Uit onderzoek van (De Vaan, Wiedenhoff, & Hensen, 2010) blijkt dat *“hoe hoger de thermische massa van een gebouw hoe langzamer de temperatuur zal stijgen en dalen”*. Ter illustratie zie onderstaand figuur waarin de verschillen zichtbaar worden tussen een lage en hoge thermische massa.



Figuur 7: Invloed van thermische massa (Van den Brom, 2013)

In Nederland worden er veel gebouwen gerealiseerd met een hoge thermische massa (beton). Uit onderzoek van (Hoes, Trcka, Hensen, & Hoekstra Bonnema, 2011) naar Hybride adaptieve thermische energieopslag blijkt dat dit vanuit de gedachte is dat *“beton leidt tot een hoger thermisch comfort dan gebouwen met een lage thermische massa”*. Er zijn studies uitgevoerd die deze gedachte bevestigen, waaronder door (Balaras, 1996).

Als voorbeeld: een huis met een betonnen constructie blijft langer koel op een zomerse dag, maar koelt s 'nachts ook trager af. Een huis van houtskeletbouw is snel warm, maar is s 'nachts ook zo afgekoeld (Ecomat, 2021).

Deelconclusie - Impact van klimaatverandering/hittestress op gebouw

De temperatuur heeft een belangrijke invloed op het comfortgevoel in een woning. Uit onderzoek blijkt dat de grenswaarde voor een comfort ervaring in een woning ligt tussen de 24 en 27°C voor de binnentemperatuur. Daarbij wordt een slaapkamer het liefst maximaal rond de 24°C gehouden. Voor leefruimtes geldt dat er een maximum rond de 27°C wordt ervaren als comfort.

Vastgesteld is dat stedelijke bebouwing invloed heeft op de buitentemperatuur. Uit onderzoek van (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018) blijkt dat *“door de bebouwing is er minder wind die voor afkoeling kan zorgen. Daarnaast koelen gebouwen 's nachts af door warmte uitstraling”*. Tevens is uit het theoretisch onderzoek is geconcludeerd dat een te kort aan vegetatie in de stad één van de oorzaken is van het luchttemperatuurverschil tussen stedelijk en landelijk gebied. Daarnaast worden de menselijke activiteiten in de stad en dat stedelijke bebouwing donkerder is en minder zonlicht weerkaats als derde en vierde oorzaak benoemd.

Uit onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) en (Rovers, Bosch, & Albers, 2014) kan geconcludeerd worden dat *“grondgebonden woningen minder vaak last hebben van oververhitting”*

dan appartementen". De oriëntatie en grootte van de beglazing van een woning zijn een belangrijke factor voor hittestress. Enerzijds in het reduceren van de warmtevraag in de winter, maar ook één van de oorzaken tot hittestress in de zomer.

Uit onderzoek van (Brager, Paliaga, & Dear, 2004) is gebleken dat "*mensen hogere temperaturen accepteren als er de mogelijkheid is om het binnenklimaat te kunnen beïnvloeden*". Bijvoorbeeld doordat ze de mogelijkheid hebben om ramen te openen en sluiten. Daarnaast is de acceptatie voor hitte groter naarmate de woning groter is. Binnen de woning wordt de slaapkamer het laagst qua temperatuur gehouden (24°C ten opzichte van 27°C voor overige ruimtes in de woning). Hitte heeft namelijk invloed op de nachtrust.

2.2 Impact van hittestress op wet- en regelgeving

Om te bepalen wat de wet- en regelgeving is omtrent hittestress in woningen is er allereerst gekeken naar het Nederlands recht. In een artikel over het Nederlandse huurrecht heeft (Van der Sanden, Leidt een hittegolf tot minder huur?, 2020) vastgesteld dat *“het Nederlands recht kent geen wettelijke getalsmatige norm voor maximale binnentemperaturen in woningen”*.

Vervolgens is de regelgeving van de Huurcommissie bestudeerd. Daarbij dient de kanttekening geplaatst te worden dat je als huurder in de vrije sector (> €752,33) enkel bij de huurcommissie terecht kunt als verhuurder en huurder daar samen een afspraak over hebben gemaakt. De gebrekenregeling van de Huurcommissie valt onder het huurrecht en is vastgelegd in het ‘Gebrekenboek Huurcommissie’ (2017). Of een omstandigheid wel of niet als een gebrek van de zaak moet worden aangemerkt, volgt uit art. 7:204 BW. Het gaat daarbij om het genot dat een huurder mag verwachten (Goeman, 2020). De huurcommissie stelt in haar ‘Gebrekenboek Huurcommissie’ (Huurcommissie, 2017) enkel iets over warmteafgifte, te weten: *“als een woning met verwarming verhuurd is, dan mag een huurder voldoende warmteafgifte verwachten in één of meer vertrekken, zodat zo’n vertrek gebruikt kan worden voor het doel van de bestemming”* (Van der Sanden, Leidt een hittegolf tot minder huur?, 2020). Verder wordt er in het gebreken huurcommissie (2017) niets vermeld over een maximale binnentemperatuur.

2.2.1 Jurisprudentie

Wel zijn er een aantal rechtszaken bekend waar de rechter uitspraak heeft gedaan over de binnentemperatuur in woningen. In deze uitspraken is teruggesproken op de publicatie GIW/ISSO 2008. In deze publicatie wordt als criterium een temperatuuroverschrijding van 26,5°C voor een duur van 300 uur of langer aangehouden. De 26,5°C is gebaseerd o.b.v. de PMV-methode een temperatuur van 26,5 °C aangehouden (ISSO, 2019). Een nadere toelichting over de PMV-methode wordt gegeven in bijlage 4.

In een rechtszaak (2015) tussen huurder en verhuurder waarbij huurder claimde dat er bij zonnige temperaturen sprake was van over warmte in het gehuurde (Rechtbank Amsterdam, 2015) heeft er een onderzoek in de woning plaatsgevonden. De deskundigen in deze rechtszaak hebben het volgende opgemerkt (Rechtbank Amsterdam, 2015): *“Er is geen wettelijke norm voor binnentemperaturen in woningen. Wel worden in ISSO-publicatie 19 aanbevelingen gegeven voor het binnenklimaat van o.a. woningen. Als bovengrens wordt 26,5°C aangehouden voor rustig zitten”*.

Ondanks geen wettelijke norm heeft de rechter toch geoordeeld dat er sprake is van een gebrek van de zaak. De rechter heeft daarbij aangegeven dat (Huurgeschil, 2021) *“het ontbreken van een toereikende faciliteit in het gehuurde waarmee de temperatuur in het gehuurde kan worden afgekoeld, een gebrek van de zaak oplevert”*. Door de rechter is daarbij afgewogen of (Huurgeschil, 2021) *“het bouwjaar en de mogelijkheid om afdoende technische voorzieningen ter afkoeling van temperatuur gedurende de bouw of renovatie aan te leggen. Ook of dergelijke voorzieningen alsnog kunnen worden aangelegd zonder het huurgenot in te perken”*.

Ook zijn er uitspraken te vinden waar de rechter de huurder wijst op haar verantwoordelijkheid tot het nemen van maatregelen om de binnentemperatuur te reguleren. Daarbij kan gedacht worden aan het aan de binnenzijde van de woning aanbrengen van zonwering (Gerechtshof 's-Hertogenbosch, 2016) (Huurgeschil, 2021).

2.2.2 Regelgeving voor nieuwbouw

Per 1 januari 2021 is er voor nieuwbouw een indicatiegetal voor het risico op oververhitting, te weten: TO-juli. De TO-juli eis wordt bepaald op basis van de koelbehoefte in de maand juli. Conform het (RVO, 2021) is de grenswaarde per 1 januari 2021 voor de TO-juli is vastgesteld op 1,20. Het (RVO, 2021) omschrijft de TO-juli eis als *“een indicatiegetal waarmee inzicht wordt gegeven in het risico op temperatuuroverschrijding in een gebouw”*. Hoe hoger het getal, hoe groter het risico op temperatuuroverschrijding. Over de TO-juli schrijft (Nieman, 2022) het volgende: *“bij een TO-juli waarde van 0-1 is de woning geen belemmering voor de bewoners om de opwarming in de zomer te beperken”*. Bij een TO-juli waarde van 1 en hoger is aanpassing van het nieuwbouwplan gevraagd (RVO, 2019). Het (RVO, 2019) geeft aan dat *“woningen die beschikken over een actieve koeling voldoen automatisch aan de TO-juli eis”*.

Wanneer er niet aan de TO-juli eis wordt voldaan, dan zijn drie mogelijkheden om alsnog de TO-juli eis te behalen:

1. Ontwerp aanpassen (bouwkundig/zonwering/zonwerend glas)
2. Actieve koeling toepassen (de TO-juli eis vervalt)
3. Opstellen van een temperatuur overschrijdingsberekening (Timax, 2021)

2.2.3 Doorbelasten van hittestressmaatregelen aan huurders

Conform artikel 7:255 BW kan de verhuurder na het verbeteren van de woning de huur verhogen. De (Rijksoverheid, 2022) geeft hierover aan *“dat de huur verhoogd mag worden naast de jaarlijkse huurverhoging. Voorwaarden is dat de verbetering ervoor zorgt dat de huurder meer woongenot heeft dan voor de doorgevoerde verbetering”*. Vooraf moet verhuurder met huurder overeenkomen welke voorzieningen er worden aangebracht en welk bedrag hier tegenover staat. Bij het doorrekenen van de maandelijkse verhoging dient rekening te worden gehouden met een redelijke afschrijvingstermijn. Het ‘Beleidsboek huurverhoging na woningverbetering’ gaat niet specifiek in op een redelijke afschrijvingstermijn voor maatregelen tegen hittestress in de woning. Om te voorkomen dat er achteraf discussie ontstaan tussen verhuurder en huurder over de doorberekende kosten, wordt aan verhuurders geadviseerd om strategisch en creatief te handelen. Door (Van Der Wal, 2014) van TomLow advocaten wordt het volgende aangeraden aan verhuurders: *“vóór de renovatie begint, dient met minimaal 70% van de huurders instemming te worden bereikt over de huurprijsverhoging en de onderliggende berekening van de kosten”*.

Uitgaande van het beleidsboek van de huurcommissie heeft de verhuurder dus de mogelijkheid om maatregelen tegen hitte door te berekenen aan de huurder, mits voldaan wordt aan de gestelde voorwaarden zoals eerder beschreven. Het standpunt van de huurcommissie is in dit onderzoek gehanteerd als uitgangspunt omdat huurders van sociale huur alsmede de vrije sector een huurverhoging na woningverbetering kunnen toetsen bij de huurcommissie.

Deelconclusie impact van hittestress op wet- en regelgeving

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat het Nederlands recht geen wettelijk getalsmatige norm voorschrijft voor maximale binnentemperaturen in woningen. Tevens wordt in het gebrekenboek huurcommissie (2017) niets vermeld over een maximale binnentemperatuur.

In het onderzoek zijn uitspraken van het gerechtshof bestudeerd over de binnentemperatuur in woningen. In deze uitspraken is, op basis van de publicatie GIW/ISSO 2008, een temperatuuroverschrijding van 26,5°C voor een duur van 300 uur of langer aangehouden. Het gerechtshof heeft in de betreffende zaak geoordeeld dat er sprake is van een gebrek van de zaak wanneer er in de woning een voorziening ontbreekt om de temperatuur in het de woning af te koelen. Ook is uit het onderzoek een uitspraak in het voordeel van de verhuurder naar voren gekomen. In 2016 heeft het gerechtshof een uitspraak gedaan waarin de huurder is gewezen op haar verantwoordelijkheid tot het nemen van eigen maatregelen om de binnentemperatuur te regelen.

Dit onderzoek heeft betrekking op de bestaande woningbouw. Echter is er een kleine zijstap gemaakt naar nieuwbouw. Per 1 januari 2021 is er voor nieuwbouw een indicatiegetal voor het risico op oververhitting, te weten: TO-juli. Hoe hoger het getal, hoe groter het risico op temperatuuroverschrijding. Wanneer er niet aan de TO-juli eis wordt voldaan, dan dient het ontwerp aangepast te worden of een temperatuur overschrijdingsberekening te worden opgesteld.

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat de verhuurder de mogelijkheid heeft om de huur te verhogen naast de jaarlijkse huurverhoging. De voorwaarden hiervoor is dat de doorgevoerde verbetering ervoor zorgt dat de huurder meer woongenot heeft van de woning. Vooraf moet verhuurder met huurder overeenkomen welke voorzieningen er worden aangebracht en welk bedrag hier tegenover staat.

2.3 Het tegengaan van hittestress in woningbouw

De deelvraag "Wat is er volgens de theorie mogelijk om hittestress in woningbouw tegen te gaan?" wordt beantwoord o.b.v. een benadering op:

- Het klimaat rondom de woning
- Beglaasde geveldelen van de woning
- Gesloten bouwdelen van de woning
- Koeltechnieken t.b.v. een woning

2.3.1 Klimaat rondom de woning

Oplossingen in de stedelijke inrichting tegen de extreme hitte, moet twee belangrijke doelen dienen:

1. In het stedelijk gebied dient de luchttemperatuur zo laag mogelijk te worden gehouden
2. Er dienen plekken te worden gecreëerd waar een lage gevoelstemperatuur heerst (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020)

Het onderzoek van (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020) naar "De hittebestendige stad" zegt het volgende "De meest voorkomende maatregelen tegen de hitte in de buitenruimte zijn: groen, schaduw en water".

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat groen en het creëren van schaduw de effectiefste maatregelen zijn om het klimaat rondom een woning te beïnvloeden. Uit onderzoek van (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018) blijkt dat "groen de omgeving actief afkoelt af doordat groen zorgt voor water verdamping. De temperatuurverschillen tussen parken en de omgeving ligt tussen de 1 tot 5°C". Er is veel energie nodig voor de verdamping waardoor het de temperatuur verlaagt. Het voordeel van groen is dat het natuurlijke schaduw creëert.

Het onderzoek van (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020) is over het effect van schaduw vastgesteld dat "schaduw de inkomende zonnestraling met een factor 10 kan verlagen". Schaduw wordt dan ook gezien als een effectieve maatregel om de gevoelstemperatuur te verlagen.

2.3.2 Beglaasde geveldelen van de woning

De beperking van zonnewinsten door beglaasde geveldelen wordt beschouwd als één van de belangrijkste aspecten van het thermische zomercomfort (Flamant, 2010). In dit onderzoek zijn een drietal maatregelen voor beglaasde geveldelen onderzocht, te weten: optimaliseren van de glasgrootte en oriëntatie, zonwerende beglazing of folie en zonwering (screens).

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat het beperken van zonnewinsten door beglaasde geveldelen wordt beschouwd als één van de belangrijkste aspecten van het thermisch zomercomfort. In dit onderzoek ligt de focus op bestaande bouw. In de bestaande bouw zijn de mogelijkheden tot het optimaliseren van de glasgrootte en oriëntatie zeer beperkt. Daarom dient er gekeken te worden naar maatregelen die zonne-instraling door beglaasde geveldelen beperken. Het nadeel van het toepassen van zonwerende beglazing of warmte werende folie is dat zonnewarmte altijd in dezelfde mate wordt geweerd. Er kan dus geen onderscheid worden gemaakt in de zomer en winterperiode. De gewenste zonnewarmte wordt in de winterperiode dus ook buitengehouden. Deze situatie benoemt het voordeel van het toepassen van zonwering (screens). Daarnaast geeft het de bewoner de mogelijkheid en het gevoel dat zij zelf het klimaat kunnen beïnvloeden.

Ook is in samenwerking met bureau Cauberg Huygen een eigen praktijkonderzoek uitgevoerd. In het praktijkonderzoek is bij een appartementencomplex over een periode warmtemetingen uitgevoerd bij appartementen met zonwering en zonwerende beglazing. Uit deze warmtemetingen is naar voren gekomen dat zonwering een grote invloed heeft dan zonwerende beglazing. Daarom wordt uit het theorie en praktijkonderzoek vastgesteld dat zonwering(screens) de maatregel is voor beglaasde gevel delen van een woning. In bijlage 6 wordt de conclusie van dit onderzoek gedeeld.

2.3.3 Gesloten bouwdelen van de woning (muren / daken)

Ter voorkoming van hittestress in woningbouw zijn voor de gesloten bouwdelen van de woning een zestal elementen onderzocht. Dit betreft het reflectievermogen van de buitenafwerking, isoleren, thermische massa, Phase Change Materials (PCM's), groendaken en groene gevel.

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat het toepassen van lichtere kleuren als buitenafwerking van een gebouw (bijvoorbeeld wit in plaats van zwart) leidt tot aanzienlijke lagere binnentemperaturen (1-5°C). Een traditioneel (donker) plat dak absorbeert 85 tot 95% van de warmte. Bij een lichtgekleurde dakbedekking op een plat dak, absorbeert 30% van de warmte. Als voordeel kan dus worden vastgesteld dat het toepassen van lichtere kleuren als buitenafwerking zorgt voor een verhoging van het reflectievermogen en dus minder opname van warmte en daarom een temperatuurdaling in de woning. Als nadeel dient er rekening te worden gehouden dat het mettertijd vuil wordt.

Uit het theoretisch onderzoek blijkt tevens dat het (na)isoleren van de gevel een zeer kleine rol speelt als maatregel tegen hitte in de woning. Daarbij is de warmtecapaciteit van het isolatiemateriaal bepalend voor hoe goed de hitte wordt buitengehouden. Een ongewenst effect van toenemende isolatieniveaus van geveldelen is dat tijdens warme zomerdagen er eenmaal een hoge binnentemperatuur wordt bereikt, deze ook langer aanhoudt.

In het onderzoek is ook onderzoek gedaan naar het toepassen van groendaken. Door het toepassen van een groendak kan de warmtestroom door het dak worden verminderd als gevolg van onder andere het verhogen van het Groene daken zorgen daarnaast voor een lagere binnentemperatuur van 3 tot 4°C bij een buitentemperatuur tussen de 25°C en 30°C. Bij een goed geïsoleerd dak wordt er een lagere binnentemperatuur bereikt van 1 tot 1,5°C. Bij het toepassen van een groene gevel worden er dalingen van de binnentemperatuur waargenomen. Deze dalingen zijn wel lager dan een groen dak (0,2-1,2°C). Bij het toepassen van een groene gevel worden daarnaast ook technische problemen ondervonden, blijkt het uit onderzoek.

Daarom wordt uit het theoretisch onderzoek geconcludeerd dat conform de theorie het verhogen van de albedo waarde/ het reflectievermogen van de woning als effectiefste hittemaatregel wordt gezien om hittestress in woningbouw te voorkomen.

2.3.4 Koeltechnieken t.b.v. een woning

Bij koeltechnieken kan er een onderscheid worden gemaakt tussen passieve- en actieve koeltechnieken. Passieve koeltechnieken zijn (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020): *“technieken waarbij geen of een beperkte hoeveelheid energie moet worden toegevoegd.”*. Actieve koeling is het (Krautz, 2021) *“creëren van een temperatuur gecontroleerde omgeving met de inzet van bijvoorbeeld een ventilator of een warmtepomp”*. Deze koeltechniek vraagt dan ook energetisch meer.

Kijkend naar passieve koeltechnieken blijkt dat ventilatie wordt gezien als een noodzakelijke handeling om een gezonde luchtkwaliteit in een woning te garanderen. De indirecte manier waarop ventilatie het comfort in een gebouw kan verbeteren is nachtventilatie. Nachtventilatie verlaagt de binnen luchttemperatuur van een woning naar 1,5-2°C. Voorwaarden is wel dat de bewoner op de juiste momenten ventileert. In de praktijk is een schouweffect het eenvoudigst te realiseren door te kiezen voor voldoende draaikiepvijsters in combinatie met een (opengaande) koepel of dakraam. Het effect kan ook gecreëerd worden door het toepassen van een zomernachtventilatieluis. Een goed nachtventilatieluis is kierdicht, houdt insecten tegen, slagregendicht en inbraakveilig. Dit is een voordeel t.o.v. het ventileren via draaikiepvijsters.

Kijkend naar mechanische ventilatie is er allereerst onderzoek gedaan naar de mechanische ventilatiesysteem C & D. Het nadeel van het gebruik van een ventilatiesysteem C/C+ als koeltechniek in een woning is dat de luchtaanvoer op buitentemperatuur is. Tijdens zomerse dagen wordt er dus warme lucht de woning aangevoerd, waarbij je de warmte zoveel mogelijk buiten wilt houden. Het nadeel van de toepasbaarheid van een ventilatiesysteem D is dat het enkel toepasbaar is in nieuwbouw of bij een grondige renovatie. Dit heeft er mee te maken doordat er voor een ventilatiesysteem D zowel toe- als afvoerkanalen nodig zijn (Welk ventilatiesysteem kiezen?, 2021).

In het onderzoek zijn ook de mogelijkheden onderzocht voor het passief koelen via mechanische ventilatie zoals lucht-aardwarmtewisselaar, een bodemwarmtewisselaar en een WKO. Voor het toepassen van deze maatregelen zijn eveneens ingrijpende bouwkundig maatregelen benodigd zoals het aanbrengen van ondergrondse buizen of de aanleg van een ondergrondse bron. Voor het toepassen zijn daarnaast in de woning ook dusdanige bouwkundige maatregelen benodigd dat er een renovatie moment voor nodig is om de gebouwschil en de installaties op benodigd niveau te krijgen. Derhalve wordt dit niet als maatregelen gezien in de bestaande bouw / in een bewoonde situatie.

Actieve koeling wordt in de woningbouw enkel nodig geacht wanneer de vrije temperatuur uitstijgt boven de comfortgrens van 26°C. Actieve koeling in woningbouw kan worden toegepast met een lucht-waterwarmtepomp, lucht-luchtwarmtepomp en ventilatoren. De inzet van een lucht-waterwarmtepomp betreft hoog-temperatuurkoeling. Het koelvermogen is namelijk begrensd op 18°C om condens te voorkomen. Ook zijn er ingrijpende bouwkundig maatregelen benodigd die enkel toepasbaar zijn bij nieuwbouw of een renovatie. In dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat het in een bewoonde situatie echter niet mogelijk is om dit te realiseren. Daarom is een lucht-waterwarmtepomp niet de oplossing om hittestress in woningbouw te voorkomen.

Daarnaast is er gekeken naar een lucht-lucht warmtepomp. Dit staat ook wel bekend als een airco en wordt gezien als de minst energiezuinige manier om mensen te koelen. Daarnaast heeft het gebruik een grote klimaatimpact met als gevolg van een sterke uitstoot van broeikasgassen. Daarom wordt ook deze warmtepomp niet als de oplossing gezien.

Tenslotte is er onderzoek gedaan naar de werking van een ventilator als zijnde actieve koeling. Doordat een ventilator de lokale luchtstroom vergroot is het minstens 10 keer energiezuiniger dan het koelen van de lucht in een bepaalde ruimte. Daarnaast kan het de binnentemperatuur tussen de 3-7°C compenseren. Wel zijn ventilatoren beperkt in de mate dat zij voor verkoeling kunnen zorgen.

Zoals eerder benadrukt ligt de focus in dit onderzoek op bestaande bouw. In de bestaande woningportefeuille zijn de mogelijkheden tot het aanbrengen van installaties beperkt. Hiervoor dienen renovatiemomenten voor worden gebruikt. Daarom is er gekeken naar passieve koeltechnieken. Het grote voordeel van natuurlijke (nacht) ventilatie is dat de huurder het zelf kan reguleren, het kent geen verbruik, is dus duurzaam en deze maatregel is met minimale middelen toe te passen is. Ook is uit onderzoek gebleken dat natuurlijke (nacht)ventilatie positieve invloed heeft op de temperatuur in een ruimte. Daarom wordt uit het theoretisch onderzoek geconcludeerd dat, conform de theorie, natuurlijke (nacht)ventilatie de maatregel is om hittestress in bestaande woningbouw te voorkomen.

3. Praktijkonderzoek

In het vorige hoofdstuk zijn verschillende theorieën en onderzoeksresultaten op het gebied van hittestress in woningbouw uiteengezet. Voor dit hoofdstuk zijn de bevindingen uit theoretisch kader vertaald naar onderwerpen voor het praktijkonderzoek. In de eerstvolgende paragraaf wordt toegelicht voor welke methodieken is gekozen. Vervolgens wordt het praktijkonderzoek nader uitgewerkt.

3.1 Onderzoeksmethodiek

Er is in dit onderzoek gekozen om op een interactieve manier de bevinden uit het theoretisch onderzoek te toetsen. Hiervoor is gekozen om middels een praktijkonderzoek interviews af te nemen onder twee groepen:

1. Institutionele woningbeleggers met een beleggingsportefeuille in Nederland
2. Experts op het gebied van hittestress

Middels een enquête is dit slecht haalbaar, doordat er niet kan worden doorgevraagd of direct kan worden gereageerd. Het praktijkonderzoek richt zich, in lijn met de hoofdvraag, enkel op hittestressmaatregelen met als invalshoek: bestaande bouw. Er is bewust niet gekozen voor nieuwbouwwontwikkelingen, mede vanwege de aangescherpte regelgeving omtrent hittestress met de TO-juli eis van de NTA8800-methodiek welke geldig is voor nieuwbouw per 1 januari 2021.

De interviews worden middels een beknopt gesprekverslag vastgelegd en door de geïnterviewde geaccordeerd. De uitkomsten van de interviews worden samengebracht met het theoretisch onderzoek. Hieruit volgen eerste voorstellen voor hittestressmaatregelen in de bestaande bouw.

De voorgestelde hittestressmaatregelen worden financieel doorberekend middels een DCF-methode. Hierbij is het doel om rekening te houden met risicoprofielen op het gebied van: bouwjaar, stedelijk/landelijk, meergezinswoningen of eengezinswoningen. De resultaten worden verwerkt tot aanbevelingen t.b.v. institutionele woningbeleggers ter voorkoming van hittestress in haar woningbezit.

3.2 Vastgoedbeleggers & experts

De selectie van beleggers en experts is tot stand gekomen vanuit het netwerk van de onderzoeker. De onderzoeker heeft geselecteerd op institutionele beleggers die actief zijn in de Nederlandse woningmarkt en experts op gebied van Nederlandse woningbouw.

Het doel van de interviews was om de theorie en het hittestress beleid van institutionele woningbeleggers en experts te toetsen en kennis en ervaringen met hittestress inzichtelijk te maken. Dit om vanuit de praktijk inzicht te krijgen in efficiëntie maatregelen ter voorkoming van hittestress in bestaande woningbouw. Er is gekozen om semigestructureerde interviews af te nemen. Dit met als doel zodat er kan worden doorgevraagd op bepaalde thema's maar er ook gestructureerd en op een interactieve manier gesproken kan worden over bepaalde onderwerpen. De afgenomen interviews zijn middels een gespreksverslag vastgelegd en door de geïnterviewde geaccordeerd.

Geïnterviewden

	Belegger	Functie		Expert	Functie
1	Belegger 1	Technisch manager	5	Expert 1	Productontwikkelaar
2	Belegger 2	Technisch manager	6	Expert 2	Manager Kennis & Innovatie
3	Belegger 3	Technisch manager	7	Expert 3	Manager Business & Development
4	Belegger 4	Programmamanager Duurzaamheid	8	Expert 4	Consultant & Projectleider

Tabel 1: Overzicht van de geïnterviewden (*geanonimiseerd voor publicatie*)

De bevindingen en inzichten op basis van het uitgevoerde theoretisch kader en daarbij geraadpleegde bronnen zijn opgenomen in bijlage 9.

Vragenlijst

De bevindingen en inzichten uit het theoretisch kader (hoofdstuk 2) zijn vervolgens gebruikt voor onderwerpen en vraagstellingen voor het praktijkonderzoek onder institutionele woningbeleggers en experts. De vragenlijst die hieruit is voortgevloeid, en gedurende het praktijkonderzoek is toegepast, is opgenomen in bijlage 10.

3.3 Resultaten

Tijdens de interviews zijn de vragen uit de voorgaande paragraaf afgenomen. Gedurende het onderzoek heerste er de COVID-19 pandemie, derhalve zijn 7 van de 8 interviews digitaal via Teams afgenomen. In deze paragraaf worden de interviews per geïnterviewde kort toegelicht. De volledige gespreksverslagen zijn per geïnterviewde in bijlage 11 opgenomen.

1. Institutionele woningbelegger: Woningbelegger 1 (geanonimiseerd voor publicatie)

De geïnterviewde geeft aan dat klimaatadaptatie binnen ...*(geanonimiseerd)* nog geen hoofddoel is. Dit vertaalt zich in de praktijk dat er in de bestaande bouw vooral reactief wordt gehandeld. Wel worden er een aantal proactieve voorbeelden aangehaald zoals het plaatsen van watertonnen en het motiveren van minder tuintegels. Wat betreft hittestress wordt er bij nieuwbouw de TO-juli eis gevolgd. Wel speelt de steeds grotere glasoppervlakte een belangrijke rol. Voor hittestress in de bestaande bouw geeft de geïnterviewde aan dat dit met name afspeelt in woningen met een bouwjaar uit de jaren 80/90, door een minder goed geïsoleerde schil. Als meest effectieve maatregel in de bestaande bouw ziet de geïnterviewde het voorkomen van zoninstraling middels zonwering of screens. De geïnterviewde is bekend met één hittestress casus die betrekking had op een appartementencomplex in stedelijk gebied. Vanuit de bovenste gelegen appartementen werden meldingen ontvangen van hittestress. Naar aanleiding daarvan is ...*(geanonimiseerd)* overgegaan tot het plaatsen van warmte werende folie op de gehele bovenste verdieping. De hieruit voortkomende kosten heeft ...*(geanonimiseerd)* voor haar rekening genomen. De effectiviteit van de genomen maatregel is niet beoordeeld middels warmtemetingen of huurderstevredenheid. Wel geeft de geïnterviewde aan dat na het plaatsen van de folie er geen klachten meer zijn ontvangen.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	(Na)isoleren) van de gevel
Ventilatie	Mechanisch koelen bijv. via een WTW (adiabatische luchtkoeling)

Tabel 2: Effectiefste maatregelen institutionele woningbelegger 1

2. Institutionele woningbelegger: Woningbelegger 2 (geanonimiseerd voor publicatie)

Binnen ...*(geanonimiseerd)* is de aandacht voor hittestress nog beperkt. Wel is zichtbaar dat bij recent opgeleverde nieuwbouwcomplexen er steeds meer problemen worden ervaren met hittestress. Met betrekking tot het geplande beleid omtrent hittestress verwacht de geïnterviewde dat er bij start bouw direct een TO-berekening wordt uitgevoerd om de potentiële warmtebelasting te bepalen en nieuwbouw direct met screens worden opgeleverd. De geïnterviewde ziet hittestress met name voorkomen in woningbouw vanaf bouwjaar 2000. In de bouwjaren 70 en 80 komt hittestress naar ervaring van de geïnterviewde niet naar voren. De geïnterviewde wijdt hittestress aan de toenemende isolatie en hoeveelheid glas in de gevel in combinatie zonder toepassing van zonwering of overstekken. De geïnterviewde is dan ook van mening dat je vooral de zon moet weren middels screens of zonwerende folie. De geïnterviewde heeft te maken met een actuele hittestresscasus bij een appartementencomplex uit bouwjaar 2020. Er wordt een TO-berekening gemaakt om een oplossing te bepalen. Verwacht wordt dat de uitkomst, zonwering is. Omdat dit kwaliteit toevoegt aan de woning wordt mogelijkheid onderzocht om (een deel van de) investeringskosten door te berekenen.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Geen standpunt > vanuit oogpunt hittestress nog niet benaderd
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Geen standpunt > vanuit oogpunt hittestress nog niet benaderd
Ventilatie	Natuurlijke (nacht)ventilatie

Tabel 3: Effectiefste maatregelen institutionele woningbelegger 2

3. Institutionele woningbelegger: Woningbelegger 3 (geanonimiseerd voor publicatie)

...*(geanonimiseerd)* is bezig is met het opstellen van beleid omtrent klimaatadaptatie. Daarbij kijken zij naar klimaat adaptieve maatregelen op complexniveau. Hittestress wordt met name onder de aandacht gebracht door de huurders. Dit zijn met name huurders die op leeftijd zijn en huurders van woningen met een relatief jong bouwjaar. De geïnterviewde ziet technische aspecten als de kleur van de schil van het gebouw, glasoppervlakte, isolatiewaarde en de ligging/oriëntatie van het gebouw als factoren die

zorgen voor hittestress in woningen. Met name de woningen vanaf het bouwjaar 2000 met een hogere isolatiewaarde houden naar zijn idee meer warmte vast. De geïnterviewde is bekend met een actuele hittestress casus bij een appartementencomplex gelegen in een stadscentrum waarbij één geveldeel met veel glas op de zon staat. Als maatregel wordt de zongevel voorzien van screens. Deze screens zijn nog niet gerealiseerd waardoor de effectiviteit van de maatregel nog niet bepaald is. De geïnterviewde geeft wel aan dat het meten van de huurderstevredenheid en een verlaging in je mutatiegraad pijlers zijn om de effectiviteit te meten. De geïnterviewde stelt dat je de markthuurlen zou kunnen verhogen, zodat bij mutatie een hogere huur wordt gevraagd. Het nadeel hiervan is dat door deze maatregel mogelijk de mutatiegraad daalt en het daardoor langer duurt voordat je de investering terug hebt verdiend.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen + water
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Lichte kleuren toepassen op gevel
Ventilatie	Koelen via een WTW (adiabatische luchtkoeling)

Tabel 4: Effectiefste maatregelen institutionele woningbelegger 3

4. Institutionele woningbelegger: Woningbelegger 4 (geanonimiseerd voor publicatie)
 ...*(geanonimiseerd)* is bezig om, o.b.v. omgevingsdata, de klimaatrisico's op gebouwniveau in kaart te brengen. Dit geeft de werkelijkheid beter weer, wat o.a. belangrijk is voor de participanten van een beleggingsfonds. Daarnaast helpt het om investeringen voor klimaat adaptieve maatregelen richting de participanten te verantwoorden. De geïnterviewde geeft aan dat hittestress een thema is van de laatste jaren. De aandacht ten opzichte van andere klimaatrisico's is gelijk verdeeld. Echter is het voor ...*(geanonimiseerd)* praktischer om klimaatrisico's als hitte en overstromingsrisico op te pakken omdat je daar als belegger direct invloed op uit kunt oefenen. De geïnterviewde ziet als factoren die zorgdragen voor hittestress in een woning, dat de temperatuur in een woning stijgt doordat er warme naar binnen komt (zoninstraling) en de warmte vervolgens moeilijk naar buiten krijgt. Om te voorkomen dat de woning binnen opwarmt ziet de geïnterviewde oplossingen als het toepassen van screens/rolluiken, de kleur van de schil van het gebouw, glasoppervlakte, isolatiewaarde en de oriëntatie van het gebouw als bepalende factoren die meespelen bij hittestress in woningbouw. ...*(geanonimiseerd)* meet de effectiviteit van een maatregel o.a. door te kijken naar de huurderstevredenheid.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Lichte kleuren toepassen op dak en gevel
Ventilatie	Koelen via een WTW (adiabatische luchtkoeling) (switch)

Tabel 5: Effectiefste maatregelen institutionele woningbelegger 4

5. Expert: Expert 1 (geanonimiseerd voor publicatie)

Aan de geïnterviewde is gevraagd hoe de aandachtsgebieden binnen klimaatverandering en klimaatadaptatie zich verhouden. Tijdens het interview is aangegeven dat de ...*(geanonimiseerd)* de afgelopen 5 jaar de CO₂-intensiteit, gebruik fossiele brandstof en afval goed hebben gemonitord. De ...*(geanonimiseerd)* heeft zich namelijk aangesloten bij het Science-Based Targets initiative. Hier ligt dus de aandacht op binnen de ...*(geanonimiseerd)* en is een duidelijke dalende trend te zien. Vanuit nieuwbouw worden er veel klimaat adaptieve maatregelen toegepast, daarbij kan gedacht worden aan WADI's, integreren van nestkasten en het planten van bomen t.b.v. natuurlijke schaduwwerking. Vanuit renovatie (bestaande bouw) is het lastiger inbedden. Kijkend naar hittestress geeft de geïnterviewde aan dat energie al veel verder in de curve van veranderingsmanagement zit. Echter door hetere zomers en meer thuis (vanwege corona) ziet de geïnterviewde ook in hittestress een versnelling. De geïnterviewde ziet zoninstraling als enorm grote factor voor hittestress. Als oplossing hiervoor worden zonneschermen/screens als oplossing genoemd. Dit geeft de bewoner persoonlijke controlemogelijkheden op het binnenklimaat. Als nadeel van screens wordt door de geïnterviewde benoemd dat je geen uitzicht hebt. Daarom kan ook gedacht worden aan het creëren van natuurlijke schaduwwerking middels groen (bomen die in de winter kaal zijn en in de zomer groen). In zijn algemeenheid acht de geïnterviewde als hittemaatregel één zoninstraling blokkeren en twee effectief ventilatie toepassen.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Gevelkleur met een zo hoog mogelijke albedo waarde
Ventilatie	Natuurlijke (nacht)koeling/ventilatie

Tabel 6: Effectiefste maatregelen expert 1

6. Expert: Expert 2 (geanonimiseerd voor publicatie)

De geïnterviewde geeft aan dat binnen klimaatadaptatie de meeste aandacht uit gaat naar wateroverlast, hittestress en droogte. De aanleiding hiervoor is dat er vaak wordt gekeken naar wat zichtbaar is. Hittestress kost stroom en is ook niet verzekeraar geeft de geïnterviewde aan. Vanuit de ...*(geanonimiseerd)* is er op dit moment nog geen beleid omtrent de toenemende hitte. Volgens de geïnterviewde is de toenemende isolatie door strengere wet- en regelgeving het gevolg van hittestress in de bestaande woningbouw. Om hittestress te voorkomen wordt het toepassen van nachtventilatie, zonwering/screens en groene gevels en blauwe daken (regenwater opvang- en hergebruik). In zijn algemeenheid acht de geïnterviewde het ontsteden en vergroenen van vastgoed als de effectiefste maatregel voor het voorkomen van hittestress in bestaande woningbouw.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewde:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Vergroenen van de gevel (verhogen albedo waarde)
Ventilatie	Natuurlijke (nacht)koeling

Tabel 7: Effectiefste maatregelen expert 2

7. Expert: Expert 3 (geanonimiseerd voor publicatie)

De geïnterviewde vindt dat klimaatadaptatie nog niet zo leeft. Eén van de redenen is dat het klimaatakkoord is gericht op mitigatie van CO₂-emissie. Over klimaatadaptatie wordt niets gezegd, derhalve vindt de geïnterviewde dat klimaatadaptatie niet de aandacht krijgt die het benodigd heeft. De geïnterviewde geeft aan dat aan dat de maatschappelijke aandacht voor hittestress de afgelopen 2 jaar enorm is toegenomen naar aanleiding van de recente extreme hittegolven (2019 & 2020 max. temperatuur ca. 40 graden!). De geïnterviewde benadrukt ook de seizoenen verschuiven en de weersextremen verergeren (heftige regenval, hoge zomertemperaturen, droogte). Daarbij stelt de geïnterviewde wel dat er ook gekeken moet worden naar het gedrag van bewoners. In Nederland wordt er ongeacht de temperatuur om 6 uur s 'avonds gegeten. De geïnterviewde ziet een aantal factoren die zorgen voor hittestress in woningen. Allereerst hou de warmte buiten, dit begint met bewonersgedrag. Pas natuurlijke ventilatie effectief toe en voorkom zoninstraling. Hiermee wordt voorkomen dat de thermische massa opwarmt. Daarnaast wordt er te weinig gespeeld met gevelkleuren om de albedo waarde te verhogen Nederland is een echt bakstenenland, zo stelt de geïnterviewde.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewden:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Vergroenen van de gevel (verhogen albedo waarde)
Ventilatie	Natuurlijke (nacht)koeling

Tabel 8: Effectiefste maatregelen expert 3

8. Expert: Expert 4 (geanonimiseerd voor publicatie)

De geïnterviewden van ... (geanonimiseerd) geven aan dat dat er 1,5 jaar geleden meer aandacht voor hittestress is gekomen vanuit het vastgoed. Daarbij geven zij aan dat de aandacht voor hittestress een inhaalslag heeft gemaakt en meer speelt dan bijvoorbeeld wateroverlast. Wateroverlast is namelijk een bekend probleem, daar kan iedereen zich een voorstelling van maken geven de geïnterviewden aan. De geïnterviewden zien technische aspecten als oriëntatie gebouw, glasoppervlakte de kleur van het dak/façade, zontoetredingsfactor en de isolatiewaarde als factoren die zorgen voor hittestress in woningen. Hittestress in de omgeving kan beïnvloed worden door factoren als de aanwezigheid van groen, water, schaduw en wind, geven de geïnterviewden aan. De geïnterviewden zien actieve koeling en zonwering als de oplossing voor het voorkomen van hittestress in de bestaande woningbouw.

Effectiefste maatregel volgens geïnterviewden:

Klimaat rondom de woning	Creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen	Lichte kleuren toepassen op gevel
Ventilatie	Natuurlijke (nacht)koeling en mechanische koeling

Tabel 9: Effectiefste maatregelen expert 4

3.4 Bevindingen

Uit de interviews met de beleggers en de experts blijkt dat hittestress een nog relatief jong thema is in de vastgoedmarkt. De beleggers en de experts zitten grotendeels op dezelfde lijn qua effectiefste maatregel voor de bestaande woning.

De interviews hebben samengevat de navolgende bevindingen opgeleverd:

- Zeven van de acht geïnterviewden (87,5%) ziet als effectiefste maatregel voor het klimaat rondom de woning het creëren van natuurlijke schaduw middels vergroenen;
- De acht geïnterviewden (100%) zien voor de beglaasde geveldelen het toepassen van zonwering/screens als effectiefste maatregel ter voorkoming van hittestress;
- Zes van de acht geïnterviewden (75%) ziet het verhogen van de albedo waarde als effectiefste hittestress maatregel voor gesloten bouwdelen van een bestaande woning. Daarbij worden maatregelen genoemd als het vergroenen van de gevel of een lichte gevelkleur;
- Vijf van de acht geïnterviewden (62,5%) ziet natuurlijke nachtventilatie (mits effectief toegepast) als effectiefste maatregel voor het voorkomen van hittestress middels ventilatie. Drie van de acht geïnterviewden (37,5%) ziet het mechanisch ventileren (middels bijvoorbeeld een WTW) als effectiefste maatregel.
- Vier van de acht geïnterviewden (50%) ziet de toename van isolatie als één van de oorzaken van hittestress in de bestaande woningbouw. Twee van de acht geïnterviewden (25%) ziet juist in het een gebrek aan isolatie als oorzaak van hittestress. Uit het theoretisch onderzoek is echter gebleken dat moderne woningbouw (bouwperiode 2012) sneller opwarmen dan oudere bouw (bouwperiode jaren '70) en er dus een verband is tussen isolatie en hitteoverlast.
- Door acht van de acht geïnterviewden (100%) wordt zonintreding gezien als belangrijkste factor voor hittestress. Zeker met de toenemende glasoppervlakte in woningbouw is dit een aandachtspunt.

4 Financiële strategieën

Institutionele beleggers hebben een lange termijn horizon (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013). Het lange termijn karakter past bij de wijze waarop institutionele beleggers haar doelstellingen wensen te behalen. Daarom dient ook de focus gelegd te worden op het klimaat adaptief maken van de portefeuille, wat ten goede komt van de courantheid van de beleggingsportefeuille.

Nu de actor en de doelstellingen duidelijk zijn, dienen de parameters nader onderzocht te worden waarop beleggers een beslissing kunnen nemen om te investeren in maatregelen tegen hittestress in bestaande woningbouw.

4.1 Methode financiële analyse

De primaire doelstelling van institutionele beleggers is het behalen van het gewenste rendement (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013). De wijze waarop rendementen worden berekend spelen een essentiële rol in de beslissing van institutionele beleggers om al dan niet over te gaan tot klimaat adaptieve maatregelen. Eén van de onderdelen van het onderzoek naar de aantrekkelijkheid van mogelijke investeringen is het beoordelen van de financiële rentabiliteit (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013). Voor ontwikkelaars en institutionele beleggers is de DCF-methode inmiddels dan ook een standaard analysetechniek (Berkhout, 1997). De overige waarderingen vinden plaats op basis van de BAR of NAR-methode. Omdat de meeste waarderingen op basis van de DCF-methode plaatsvinden, wordt voor dit onderzoek gebruik gemaakt van deze methode.

4.2 DCF-methode

Voor het gebruik van een DCF-model, dienen er een aantal uitgangspunten te worden vastgesteld. De belangrijkste uitgangspunten worden hieronder nader toegelicht.

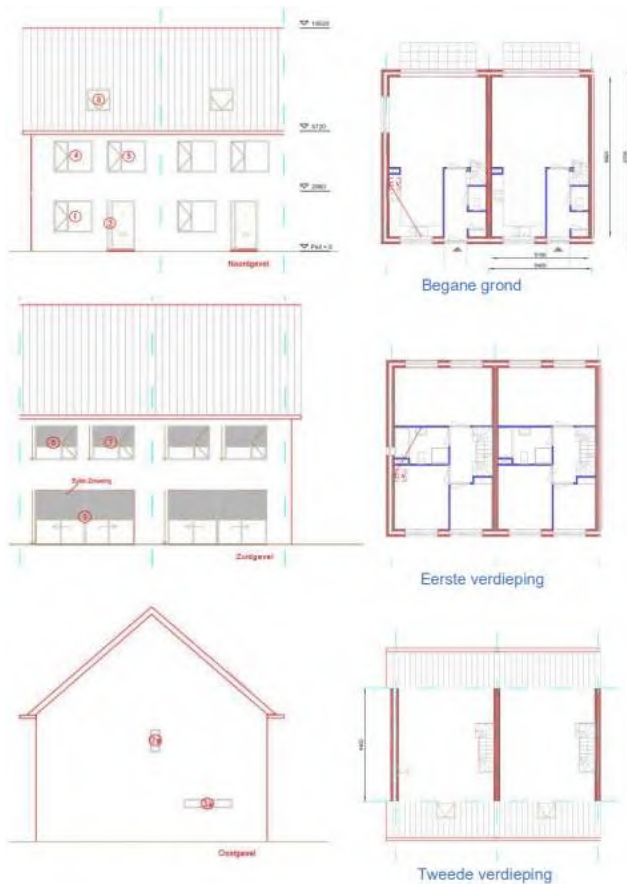
Referentiewoningen

Het (RVO, 2017) maakt gebruik van referentiewoningen. De referentiewoningen geven een goede weergave van de woningbouw in Nederland. Het RVO biedt een set aan referentiewoningen aan. Dit onderzoek richt zich op de institutionele woningbelegger en zal zich dus beperken tot de woningtypen: 'tussenwoning', 'hoekwoning' en 'appartementencomplex' (RVO, 2017).

Voor dit onderzoek wordt, op basis van de RVO referentiewoningen, vergelijkbare woningtypen binnen een bestaande portefeuille van een institutionele woningbelegger geselecteerd. De geselecteerde woningtypen worden anoniem doorgerekend conform de DCF-methode. Hiermee wordt voor dit onderzoek gestreefd naar zo realistisch mogelijke uitkomsten.

Tussen- en hoekwoning

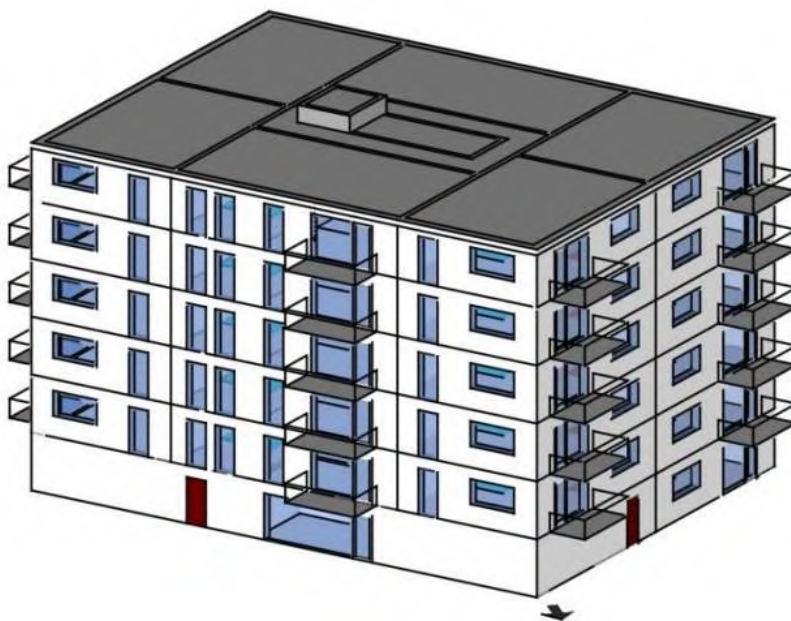
Vanuit de gegevens van het RVO is vastgesteld dat de gemiddelde tussen- en hoekwoning een gemiddeld oppervlakte heeft van 125 m² met een breedte van 5,1 meter en diepte van 8,9 meter. De tussen- en hoekwoning beschikt over 3 slaapkamers en is voorzien van een hellend dak op de 2^e verdieping (zadeldak). De achtergevel is georiënteerd op het zuiden (RVO, 2015).



Figuur 8: Uitgangspunt referentie woningtype 'tussen- en hoekwoning' (RVO, 2015)

Appartementencomplex

Vanuit de referentiegebouwen van het RVO is een gemiddeld appartementengebouw 3828 m² en 3036 m² gebruiksoppervlak. Volgens het (RVO, 2017) kan een gemiddeld appartementengebouw gedefinieerd worden als "6 verdiepingen met in totaal 33 middelgrote appartementen. De afmetingen van appartementen variëren van 54 m² per appartement naar 108, 130-150 en 200. De gemiddelde grootte is 90 m²".



Figuur 9: Uitgangspunt referentie woningtype 'appartementencomplex' (RVO, 2017)

Bouwjaar

Uit onderzoek van (Rovers, Bosch, & Albers, 2014) wordt gesteld dat *“moderne woningen (bouwjaar +/- 2012) sneller opwarmen dan woningen met een ouder bouwjaar (bouwjaar +/- '70”*. In het betreffende onderzoek is vastgesteld dat moderne woningbouw ongeveer 3x zoveel oververhittingsuren heeft. Ook in dit onderzoek is door 50% van de respondenten de toename van isolatie genoemd als oorzaak van hittestress in woningbouw. De thermische beleving van een woning kan dus erg verschillend zijn op basis van het bouwjaar en de bijbehorende isolatiewaarden. Naar aanleiding daarvan wordt voor dit onderzoek een splitsing gemaakt in twee bouwperiodes.

- Bouwjaren 1970/1980

Uit onderzoek van (Kersemakers, 2020) wordt gesteld dat woningen *“vóór 1975 niet of nauwelijks geïsoleerd zijn. Bij woningen die zijn gebouwd in de periode 1975 t/m 1982 is er matige kwaliteit spouwmuurisolatie en dakisolatie aangebracht en is de begane grond voorzien van dubbelglas”*. Ook de bouwperiode 1983 t/m 1991 wordt als matig geïsoleerd bevonden.

- Bouwjaar vanaf 2000 tot heden

De woningen die gebouwd zijn vanaf 2000 worden door (Kersemakers, 2020) gecategoriseerd als *“woningen met een goede tot zeer goede isolatie en voorzien van HR++ glas of triple glas”*.

Locatie

Eerder in dit onderzoek zijn de effecten van hoge temperaturen in het stedelijk gebied beschreven. Hieruit is vastgesteld dat stedelijke bebouwing invloed heeft op de temperatuur. Naar aanleiding daarvan wordt in het DCF-model zoveel als mogelijk referentiegebouwen gehanteerd die in stedelijk gebied liggen.

Referentiewoningen DCF-model

Bij het selecteren van referentiewoningen is als uitgangspunt de referentiegebouwen zoals door het RVO als gemiddeld Nederlandse eengezinswoning en appartementencomplex aangehouden. Omwille van het anoniem verwerken van data wordt er geen specifieke informatie gegeven van het gebouw. Voor het doorrekenen van de zonwering/screens zijn een viertal referenties geselecteerd:

- Appartementencomplex met bouwjaar 1975
- Appartementencomplex met bouwjaar 2018
- Eengezinswoningen met bouwjaar 1983
- Eengezinswoningen met bouwjaar 2018

4.3 Beoordelingscriteria

Als input voor het DCF-model is gebruik gemaakt van de bevindingen uit het theoretisch alsmede het praktijkonderzoek. In onderstaande zijn schematisch de bevindingen van beide onderzoeken weergegeven.

Uit het theoretisch onderzoek heeft samengevat de volgende bevindingen opgeleverd als effectiefste hittestress maatregel.

Het klimaat rondom de woning	Vergroenen / creëren van schaduw
Beglaasde geveldelen van de woning	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen van de woning	Verhogen van de albedo waarde (reflectie)
Koeltechnieken t.b.v. een woning	Natuurlijke nachtventilatie

Tabel 10: Effectiefste hittestressmaatregelen uit theoretisch onderzoek

Het praktijkonderzoek heeft samengevat de volgende bevindingen opgeleverd als effectiefste hittestress maatregel.

Het klimaat rondom de woning	Natuurlijke schaduw middels vergroenen
Beglaasde geveldelen van de woning	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen van de woning	Verhogen van de albedo waarde
Koeltechnieken t.b.v. een woning	Natuurlijke nachtventilatie

Tabel 11: Effectiefste hittestressmaatregelen uit praktijkonderzoek

Vastgesteld kan worden dat het theoretisch onderzoek (hoofdstuk 2) alsmede het praktijkonderzoek (hoofdstuk 3) dezelfde effectiefste maatregelen heeft opgeleverd. Deze hittestressmaatregelen zijn in dit hoofdstuk doorgerekend conform de DCF-methode. Middels welke strategie deze maatregelen kunnen worden doorgerekend, wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

4.4 Strategieën

De institutionele woningbelegger kan op basis van een aantal strategieën een hittestressmaatregel doorrekenen aan haar huurders. In dit onderzoek zijn de volgende strategieën vastgesteld:

1. Huurverhoging na woningverbetering
2. Huurverhoging na mutatie
3. Huurverhoging na mitigatie / verduurzaming

Tenslotte kan er als vierde strategie voor worden gekozen om geen huurverhoging door te rekenen, de volledige investering wordt gedekt door de institutionele belegger:

4. Geen huurverhoging

De strategieën worden in de betreffende paragraaf nader toegelicht. Vervolgens worden per strategie de efficiëntste hittestressmaatregelen conform de DCF-methode doorgerekend. Op basis van de doorrekening wordt vervolgens een financiële efficiëntie vastgesteld op basis van de berekende huurverhoging t.o.v. de hitte efficiëntie van de maatregel.

Strategie 1: Huurverhoging na woningverbetering

Uit het theoretisch onderzoek is geconcludeerd dat een verhuurder de mogelijkheid heeft om maatregelen tegen hitte door te berekenen aan de huurder. Mits voldaan wordt aan de in dit onderzoek eerder benoemde voorwaarden vallen hitemaatregelen onder woningverbetering. Het terugverdienmodel van investeringen bij woningverbetering bestaat uit huurverhoging en verkoopopbrengsten. Verkoopopbrengsten worden pas gerealiseerd bij verkoop van de woning. Derhalve zijn dit dus geen vaste maar onzekere inkomsten. De nadruk van het terugverdienmodel ligt dan ook op het verhogen van de huur. Derhalve is het, in het kader van dit onderzoek, interessant om te onderzoeken of de kosten voortkomend uit hittestressmaatregelen kunnen worden doorberekend in een huurverhoging.

Het klimaat rondom de woning

Uit het theoretisch alsmede het praktijkonderzoek is vastgesteld dat voor het klimaat rondom de woning het creëren van natuurlijke schaduw middels groen en het vergroenen wordt gezien als de effectiefste hittestressmaatregel bij bestaande woningbouw. In dit onderzoek wordt doorgerekend om de in bezit zijnde grond te vergroenen door de verharding eruit te halen en groen terug te plaatsen. Daarnaast worden er bomen geplaatst om natuurlijke schaduw te creëren.

Voor het doorrekenen van de maatregel "vergroenen" zijn de volgende uitgangspunten voor aangehouden:

- Levensduur

In het beleidsboek 'Huurverhoging na woningverbetering' wordt geen afschrijvingstermijn weergegeven voor vergroenen (Huurcommissie, 2018). Voor het doorrekenen van de maatregelen "vergroenen" is dan ook geen rekening gehouden met volledige vervanging. In het rekenmodel wordt aangenomen dat, middels het uitvoeren van periodiek onderhoud, het groen intact blijft.

- Investering

Voor het berekenen van de kosten voor "vergroenen" is gebruik gemaakt van de kengetallen van de Adaptation Support Tool van deltaris.nl.

- Onderhoudskosten

Voor het berekenen van de onderhoudskosten is eveneens gebruik gemaakt van de kengetallen van de Adaptation Support Tool van deltaris.nl

- Voor groen is 3,64% van de investering aangehouden;
- Voor bomen is 29,82% van de investering aangehouden.

- IRR-eis

De IRR-eis is gesteld op 0% zodat enkel de kosten voortkomend uit de kosten voortkomend uit het vergroenen worden doorberekend aan de huurders.

Appartementencomplexen

Het referentie appartementencomplex uit 1975 beschikt over 217 m² niet bebouwde oppervlakte welke is opgebouwd uit grond welke zich rondom tot 2 meter uit de gevel bevindt. Doorgerekend is om deze grond te vergroenen door de verharding eruit te halen en groen terug te plaatsen. Daarnaast worden er rondom 16 bomen (4 per geveldeel) geplaatst om natuurlijke schaduw te creëren.

Het referentie appartementencomplex uit 2018 beschikt over 703 m² niet bebouwde oppervlakte welke gelokaliseerd is als binnenterrein. Doorgerekend is om deze grond te vergroenen door de verharding eruit te halen en groen terug te plaatsen. Daarnaast worden er rondom 14 bomen (1 per benedenwoning) geplaatst om natuurlijke schaduw te creëren.

Omdat de betreffende grond gemeenschappelijk is, kunnen de kosten voortkomend uit onderhoud worden doorberekend (Huurcommissie, 2021). Hiermee is rekening gehouden in het doorrekenen van de maatregel.

Op basis van bovenstaande dient er een huurverhoging te worden doorgerekend à €7,23 per maand/per woning bij het appartementencomplex uit 1975 en €6,81 per maand/per woning bij het appartementencomplex uit 2018. Om de verhoudingen tussen de componenten investering en onderhoud inzichtelijk te maken is ook enkel de investering als huurverhoging doorgerekend. Het onderhoud is €5,- à €6,- per maand.

Bouwjaar	Aantal woningen	Component	Groenoppervlakte (m2)	Bomen (aantal)	Huurverhoging per woning / per maand
1975	50	Investering + onderhoud	217	16	€ 7,23
1975	50	Investering	217	16	€ 1,30
2018	19	Investering + onderhoud	703	14	€ 6,81
2018	19	Investering	703	14	€ 1,87

Tabel 12: Hittestressmaatregel groen en natuurlijke schaduw doorgerekend bij appartementencomplexen

Eengezinswoningen

De referentie eengezinswoning uit 1983 beschikt over 115 m² tuinoppervlakte. De referentie eengezinswoning uit 2018 beschikt gemiddeld over 97 m² tuinoppervlakte. Bij beide referentie eengezinswoningen is doorgerekend om deze grond te vergroenen door de verharding eruit te halen en groen terug te plaatsen. Daarnaast wordt er 1 boom per woning geplaatst.

Bij het doorrekenen van de maatregelen bij eengezinswoningen is in de maandelijkse huurverhoging terug te zien dat elke woning beschikt over een aanzienlijk oppervlakte grond (t.o.v. een appartement). Bij het doorrekenen van de component "investering en onderhoud", komt een huurverhoging van + €40,- per maand/per woning. Echter in de praktijk onderhoudt een huurder van een eengezinswoning zelf de voor- en achtertuin. Derhalve is de maatregel ook doorgerekend met enkel het doorrekenen van de investering. Hieruit komt een huurverhoging van enkele eurocenten. Hieruit blijkt dat het doorrekenen van onderhoud bij een eengezinswoning enorm oploopt.

Bouwjaar	Aantal woningen	Component	Per eengezinswoning		
			Groenoppervlakte (m2)	Bomen (aantal)	Huurverhoging per woning / per maand
1983	27	Investering + onderhoud	115	1	€ 44,86
1983	27	Investering	115	1	€ 0,10
2018	19	Investering + onderhoud	97	1	€ 41,01
2018	19	Investering	97	1	€ 0,02

Tabel 13: Hittestressmaatregel groen en natuurlijke schaduw doorgerekend bij eengezinswoningen

Beglaasde geveldelen van de woning

Uit het theoretisch alsmede het praktijkonderzoek is vastgesteld dat voor de beglaasde geveldelen van een woning het toepassen van zonwering/screens wordt gezien als de effectiefste hittestressmaatregel in bestaande woningbouw. Derhalve wordt deze maatregel doorgerekend conform de DCF-methode. Bij het doorrekenen is aangehouden dat elke beglaasde geveldeel wordt voorzien van horizontale screens (ook wel bekend als knikarmschermen) of verticale screens (ook wel bekend als ritsscreens).

Voor het doorrekenen zijn de volgende uitgangspunten voor zonwering/screens aangehouden:

- Technische levensduur

In het beleidsboek 'Huurverhoging na woningverbetering' wordt geen afschrijvingstermijn weergegeven voor zonwering/screens (Huurcommissie, 2018). Voor de zonwering/screens is een technische levensduur aangehouden van 20 jaar (Zonwering expert, 2021)

- Investing

Voor het berekenen van de benodigde investering voor realisatie van zonwering/screens zijn de kengetallen van bouwkosten.nl toegepast. Deze website biedt complete en onderbouwde kostengegevens voor het calculeren van onder andere woningbouwprojecten en wordt gebruikt door aannemers, corporaties, ontwikkelaars en de overheid.

- Onderhoudskosten

Voor het berekenen van de onderhoudskosten is 1% van de investering per woning/per jaar aangehouden.

- IRR-eis

De IRR-eis is gesteld op 0% zodat enkel de kosten voortkomend uit de zonwering/screens worden doorberekend aan de huurders.

Appartementencomplexen

Het referentie appartementencomplex uit 1975 bestaat uit 50 appartementen en 4 types. Per type appartement is per raam vastgesteld welk type zonwering toegepast dient te worden. De totale investeringskosten op complexniveau bedraagt €311.787,-.

Het referentie appartementencomplex uit 2018 beschikt over 63 appartementen en 7 types. Per type appartement is per raam is eveneens vastgesteld welk type zonwering toegepast dient te worden. De totale investeringskosten op complexniveau bedraagt €311.254,-.

Rekening houdend dat de investering en het jaarlijkse onderhoud dient te worden doorberekend via de huurverhoging, dient er bij het appartementencomplex uit 1975 rekening te worden gehouden met een huurverhoging à €27,45 per woning/per maand. Bij het appartementencomplex uit 2018 betreft dit €21,75 per woning/per maand. Wanneer enkel de investering wordt doorberekend via de huurverhoging, dan scheelt dit €4,- à €5,- per woning/per maand aan huurverhoging.

Bouwjaar	Component	Beglaasd geveldeel	Per appartement	
			Gemiddelde glasoppervlakte (m ²)	Huurverhoging per maand
1975	Investing + onderhoud	Horizontale & verticale screens	16	€ 27,45
1975	Investing	Horizontale & verticale screens	16	€ 22,25
2018	Investing + onderhoud	Horizontale & verticale screens	12	€ 21,75
2018	Investing	Horizontale & verticale screens	12	€ 17,63

Tabel 14: Hittestressmaatregel zonwering/screens doorgerekend bij appartementencomplexen

Eengezinswoningen

Het referentiecomplex eengezinswoningen uit 1983 bestaat uit 27 eengezinswoningen met gelijke type. Het referentiecomplex eengezinswoningen uit 2018 bestaat uit 19 eengezinswoningen opgebouwd uit acht types. Bij beide referentie eengezinswoningen is doorgerekend om al het aanwezige glas te voorzien van horizontale of verticale screens.

Rekening houdend dat de investering en het jaarlijkse onderhoud moet worden doorberekend via de huurverhoging, dient er bij de referentie eengezinswoningen uit 1983 rekening te worden gehouden met een huurverhoging à €26,59 per woning/per maand. Bij de eengezinswoningen uit 2018 betreft dit €36,50 per woning/per maand. Wanneer enkel de investering wordt doorberekend via de huurverhoging, dan scheelt dit €5,- à €7,- per woning/per maand aan huurverhoging.

Bouwjaar	Component	Beglaasd geveldeel	Per eengezinswoning	
			Gemiddelde glasoppervlakte (m ²)	Huurverhoging per maand
1983	Investing + onderhoud	Horizontale & verticale screens	19	€ 26,59
1983	Investing	Horizontale & verticale screens	19	€ 21,55
2018	Investing + onderhoud	Horizontale & verticale screens	24	€ 36,50
2018	Investing	Horizontale & verticale screens	24	€ 29,59

Tabel 15: Hittestressmaatregel zonwering/screens doorgerekend bij eengezinswoningen

Gesloten bouwdelen van de woning

Uit het theoretisch alsmede het praktijkonderzoek is vastgesteld dat voor de gesloten bouwdelen van een woning het verhogen van de albedowaarde (reflectievermogen) wordt gezien als de effectiefste hittestressmaatregel. Bij het doorrekenen van de maatregelen t.b.v. van de gesloten bouwdelen is een splitsing gemaakt in de verticale geveldelen en het dak. Voor de verticale/geveldelen zijn de kosten aangehouden die voortkomen uit het aanbrengen (schilderen) van de buitengevel in een lichte kleur. Voor het dak wordt het aanbrengen van een groen dak doorgerekend. Deze combinatie van maatregelen wordt doorgerekend conform de DCF-methode.

Voor het doorrekenen zijn de volgende uitgangspunten voor zonwering/screens aangehouden:

- Technische levensduur

In het beleidsboek 'Huurverhoging na woningverbetering' wordt geen afschrijvingstermijn weergegeven voor schilderwerk en een groendak (Huurcommissie, 2018). Voor het schilderwerk van de verticale geveldelen is een technische levensduur van 8 jaar aangehouden (Schilder-weetjes, 2021). Voor het groendak is een technische levensduur van 40 jaar aangehouden (Groendak, 2011).

- Investing

Voor het berekenen van de kosten voor realisatie van het schilderwerk en het groendak is eveneens gebruik gemaakt van de kengetallen van bouwkosten.nl

- Onderhoudskosten

Voor het berekenen van de onderhoudskosten is 1% van de investering per woning/per jaar aangehouden.

- IRR-eis

De IRR-eis is gesteld op 0% zodat enkel de kosten voortkomend uit de zonwering/screens worden doorberekend aan de huurders.

Appartementen

Het geveleppervlak van het referentie appartementencomplex uit 1975 heeft in vergelijking met het appartementencomplex uit 2018 een vergelijkbaar geveleppervlakte. Doorgerekend is om de gevel in een lichte kleur te schilderen waarbij rekening is gehouden met het onderhouden van de geschilderde gevel. Bij het onderhouden van een geschilderde gevel kan gedacht worden aan het hoge druk spoelen van de gevel om het vuil te verwijderen (Geschilderde gevel, 2021).

Het dakoppervlak van het referentie appartementencomplex uit 2018 is bijna tweemaal zo groot als het referentie dakoppervlak uit 1975. Bij beide complexen is doorgerekend om een groendak aan te brengen en deze periodiek te onderhouden.

Om het verschil tussen het effect van de "investing + onderhoud" en "investing" inzichtelijk te maken zijn beide componenten doorgerekend. Het verschil is €2,- à €3,- per appartement/per maand.

Bouwjaar	Component	Maatregel	Complexniveau		Per appartement
			Geveleppervlakte (m ²)	Dakoppervlakte (m ²)	
1975	Investing + onderhoud	Schilderen gevel + groendak	2165	736	€ 21,80
1975	Investing	Schilderen gevel + groendak	2165	736	€ 19,50
2018	Investing + onderhoud	Schilderen gevel + groendak	2091	1272	€ 19,15
2018	Investing	Schilderen gevel + groendak	2091	1272	€ 16,68

Tabel 16: Hittestressmaatregel verhogen albedowaarde doorgerekend bij appartementen

Eengezinswoningen

Het gevel- en dakoppervlakte van de referentie eengezinswoningen is vergelijkbaar. Voor de eengezinswoningen zijn twee maatregelen doorgerekend. Allereerst is het schilderen van de gevel en het aanbrengen van een groendak doorgerekend. Hiermee is de volledige gesloten gevel voorzien van hittestress maatregelen. Bij het doorrekenen van deze maatregelen komt echter een flinke huurverhoging naar voren. Bij het doorrekenen van het schilderen van de gevel, blijkt dat de flinke huurverhoging te wijten is aan het aanbrengen van een groendak bij een eengezinswoning. Het in verhouding relatief grote dakoppervlakte per eengezinswoning zorgt voor een hoge investering en derhalve een hoge huurverhoging.

Bouwjaar	Component	Maatregel	Per eengezinswoning		
			Geveloppervlakte (m ²)	Dakoppervlakte (m ²)	Huurverhoging per maand
1983	Investering + onderhoud	Schilderen gevel + groendak	56	22	€ 144,45
1983	Investering	Schilderen gevel + groendak	56	22	€ 117,11
2018	Investering + onderhoud	Schilderen gevel + groendak	60	21	€ 122,41
2018	Investering	Schilderen gevel + groendak	60	21	€ 101,13
1983	Investering + onderhoud	Schilderen gevel	56		€ 14,17
1983	Investering	Schilderen gevel	56		€ 13,27
2018	Investering + onderhoud	Schilderen gevel	60		€ 15,10
2018	Investering	Schilderen gevel	60		€ 14,14

Tabel 17: Hittestressmaatregel verhogen albedowaarde doorgerekend bij eengezinswoningen

Koeltechnieken t.b.v. een woning

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat, wanneer er geen zonwering aanwezig is, de zonnestrallen de woning binnenkomt via het glas. Als gevolg daarvan absorberen oppervlakte in de woning (thermische massa) de zonnestrallen. Is de warmte eenmaal binnen, dan moet de warmte weer naar buiten worden afgevoerd middels ventilatie.

Uit het praktijkonderzoek is naar voren gekomen dat een meerderheid van de geïnterviewden (62,5%) natuurlijke nachtventilatie (mits effectief toegepast) als effectiefste maatregel voor het voorkomen van hittestress middels ventilatie. Ook komt uit het theoretisch onderzoek naar voren dat nachtventilatie een effectieve manier is om de binnen luchttemperatuur van een woning te verlagen. Het effect is het eenvoudigst te realiseren door te kiezen voor voldoende draaikiepvijsters in combinatie met een (opengaande) koepel of dakraam. Het effect kan echter veilig en functioneel gecreëerd worden door het toepassen van een zomernachtventilatieluik. Het toepassen van een zomernachtventilatieluik wordt doorgerekend conform de DCF-methode.

Voor het doorrekenen van zomernachtventilatieluien zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Technische levensduur

In het beleidsboek 'Huurverhoging na woningverbetering' wordt een afschrijvingstermijn van 25 jaar weergegeven voor ventilatieroosters. Voor de zomernachtventilatieluien wordt derhalve een technische levensduur aangehouden van 25 jaar (Huurcommissie, 2018).

- Investering

Voor het berekenen van de kosten voor realisatie van zonwering/screens zijn de kengetallen van bouwkosten.nl toegepast. Deze website biedt complete en onderbouwde kostengegevens voor het calculeren van onder andere woningbouwprojecten en wordt gebruikt door aannemers, corporaties, ontwikkelaars en de overheid.

- Onderhoudskosten

Voor het berekenen van de onderhoudskosten is 1% van de investering per woning/per jaar aangehouden.

- IRR-eis

De IRR-eis is gesteld op 0% zodat enkel de kosten voortkomend uit de zonwering/screens worden doorberekend aan de huurders.

Appartementencomplexen

Bij het appartementencomplex uit 1975 alsmede uit 2018 is gerekend met het voorzien van één nachtventilatie-rooster in de woonkamer en één nachtventilatie-rooster in elke slaapkamer. Het aantal toegepaste roosters is afhankelijk van het aantal slaapkamers.

Rekening houdend dat de investering en het jaarlijkse onderhoud dient te worden doorberekend via de huurverhoging, dient er bij het appartementencomplex uit 1975 rekening te worden gehouden met een huurverhoging à €10,48 per woning/per maand. Bij het appartementencomplex uit 2018 betreft dit €13,21 per woning/per maand.

Bouwjaar	Component	Koeltechniek	Per appartement	
			Aantal roosters	Huurverhoging per maand
1975	Investering + onderhoud	Nachtventilatie-roosters	2 a 3	€ 10,48
2018	Investering + onderhoud	Nachtventilatie-roosters	3	€ 13,21

Tabel 18: Hittestressmaatregel toepassen nachtventilatie-roosters bij appartementen

Eengezinswoningen

Bij de eengezinswoningen uit 1983 alsmede uit 2018 is gerekend met het voorzien van twee ventilatie-roosters op de begane grond, te weten een nachtventilatie-rooster in de keuken en woonkamer. Op de 1^e verdieping is gerekend met het voorzien van één nachtventilatie-rooster in elke slaapkamer. Het aantal toegepaste roosters is afhankelijk van het aantal slaapkamers. Op de 2^e verdieping is de onbenoemde ruimte niet meegenomen in het rekenmodel.

Rekening houdend dat de investering en het jaarlijkse onderhoud dient te worden doorberekend via de huurverhoging, dient er bij de referentie eengezinswoningen uit 1983 rekening te worden gehouden met een huurverhoging à €17,61 per woning/per maand. Bij de eengezinswoningen uit 2018 betreft dit €22,01 per woning/per maand.

Bouwjaar	Component	Koeltechniek	Per eengezinswoning	
			Aantal roosters	Huurverhoging per maand
1983	Investering + onderhoud	Nachtventilatie-roosters	5	€ 17,61
2018	Investering + onderhoud	Nachtventilatie-roosters	5	€ 22,01

Tabel 19: Hittestressmaatregel toepassen nachtventilatie-roosters bij eengezinswoningen

Strategie 2: Huurverhoging na mutatie

Zoals ook in de voorgaande strategie is beschreven kan een verhuurder van een woning, zoals een institutionele woningbelegger, niet zomaar de huur verhogen. Eén van de mogelijkheden is via huurharmonisatie. Bij huurharmonisatie (mutatie) wordt de huur van de woning bij wederverhuur aangepast naar de maximale huur volgens het woningwaarderingsstelsel of de markthuur (Fakton, 2018). Woningen in de vrije sector zijn niet gebonden aan punten vanuit het woningwaarderingsstelsel en derhalve niet gereguleerd (Huurwoningen, 2021). Dit onderzoek richt zich op de institutionele belegger. Zoals uit onderstaande tabel blijkt is de institutionele belegger met name actief in het midden huursegment. Naar aanleiding daarvan wordt er in deze strategie beschrijving uitgegaan dat de huur zich aanpast van de contracthuur naar de markthuur.

Huursegment	Corporaties	Particuliere verhuurders	Institutionele belegger	Totaal
Gereguleerde huur	91%	59%	15%	81%
Midden huur	8%	31%	75%	13%
Dure huur	1%	10%	10%	6%
Totaal	100%	100%	100%	100%

Tabel 20: Eigen bewerking uit bronnen: (IVBN, 2019) (CBS, 2020) (Ministerie van BZK, 2019)

Mutatiegraad

De markthuur kan dus door een institutionele woningbelegger worden toegepast wanneer een woning vrij komt. Om te bepalen wanneer een woning vrij komt dient er gekeken te worden naar de mutatiegraad. De mutatiegraad is het aantal huuropzeggingen in verhouding tot de omvang van de portefeuille van de betreffende institutionele belegger (Gebiedseconomie, 2021). Hoe hoger de mutatiegraad des te sneller de prijzen zich kunnen ontwikkelen bij huurderswisselingen. Derhalve is de hoogte van de mutatiegraad bij institutionele woningbeleggers van belang.

Om de gemiddelde mutatiegraad bij institutionele woningbeleggers te bepalen is gekeken naar de jaarverslagen van de grootste woningfondsen in Nederland. Veel institutionele woningbeleggers rapporteren in haar jaarverslagen echter niet over de gemiddelde mutatiegraad. Een uitzondering op de regel is het woningfonds Achmea Dutch Residential Fund. Dit is een middelgroot woningfonds met een landelijke portefeuille. Voor dit onderzoek wordt de gemiddelde mutatiegraad aangehouden van dit fonds aangehouden. Deze bedraagt 15,1% over de periode 2017-2020. Uit ervaring van de onderzoeker is dit ook een gemiddelde mutatiegraad.

Woningfonds	2020	2019	2018	2017	Gemiddeld
Achmea Dutch Residential Fund	15,8%	14,2%	14,7%	15,6%	15,1%

Tabel 21: Gemiddelde mutatiegraad Achmea Dutch Residential Fund (Syntrus Achmea, 2021)

Het uitgangspunt van de strategie 'huurverhoging na mutatie' is dat de investering voor het realiseren van de hittestressmaatregel wordt terugverdiend door het, na mutatie, verhogen van de huur naar markthuur. Het terugverdienmodel bij deze strategie is dus afhankelijk van de mutatiegraad en het verschil tussen de contracthuur en de markthuur. Deze strategie wordt per hittestressbenadering hierna uiteengezet.

Appartementencomplexen

Het referentie appartementencomplex uit 1975 kent 4 woningtypes. Op basis van de beschikbare database is er gekeken naar de geldende contract- en markthuur. Per woningtype is het verschil berekend en hieruit is een gemiddelde getrokken. Het gemiddelde verschil tussen de contract- en markthuur bij het appartementencomplex uit 1975 is €104,46.

Appartementencomplex 1975		Gemiddeld verschil contract & markthuur
Woningtype	Aantal	
		€ 104,46
A	19	€ 115,08
B	19	€ 111,74
C	6	€ 129,35
D	6	€ 61,68

Tabel 22: Verschil contract- en markthuur referentie appartementencomplex (1975)

In de voorgaande beschreven strategie 'huurverhoging na woningverbetering' is conform de DCF-methode per benadering een hittestressmaatregel doorgerekend. Hieruit zijn huurverhogingen per hittestressmaatregel uitgekomen. Deze huurverhogingen zijn tegen het verschil tussen de contract- en markthuur aangehouden. Bij het appartementencomplex uit 1975 is het mogelijk om individueel een hittestressmaatregel toe te passen. Gezien het gemiddelde is een combinatie van maatregelen door voeren mogelijk.

Klimaat rondom de woning		Beglaasde geveldelen		Gesloten geveldelen		Koeltechnieken
Ontharden & vergroenen		Horizontale & verticale screens		Schilderen gevel + groendak		Nachtventilatioeroosters
Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud
€ 7,23	€ 1,30	€ 27,45	€ 22,25	€ 21,80	€ 19,50	€ 10,48

Tabel 23: Benodigde huurverhoging (p/m) voor hittestressmaatregelen appartementencomplex (1975)

Het referentieappartementencomplex uit 1975 kent 50 appartementen. Eerder is vastgesteld dat er rekening dient te worden gehouden met een gemiddelde mutatiegraad van 15,1%. Rekening houdend met 50 appartementen muteren er 8 appartementen per jaar. Dit betekent dat er gemiddeld genomen 8 appartementen per jaar naar de markthuur kunnen worden verhoogd en in de meest ideale situatie er 6 jaar (50 appartementen / 8 appartementen) over wordt gedaan om de volledige huurverhoging te activeren. Echter is in deze situatie geen rekening gehouden met de gemiddelde looptijd van een huurcontract. Conform data van het CBS verhuizen Nederlanders gemiddeld 7 keer in hun leven. Dit komt neer op 1 keer in de 10 jaar (CBS, 2019). Kanttekening hierbij is dat in de data van het CBS ook de koopmarkt is verwerkt, waar naar gevoel van de onderzoeker men minder vaak verhuist. Derhalve is er gekeken naar de huidige gemiddelde looptijd van de beschikbare database. Hieruit blijkt dat een gemiddelde looptijd van een huurcontract van een appartement 5 jaar is. Vanwege het bouwjaar 1975 is er een mix aan looptijd van huurcontracten, waardoor de mutatiegraad van 15% aangehouden kan worden. Echter is de gemiddelde looptijd wel een aandachtspunt bij jonger vastgoed zoals volgende referentiecomplex uit 2018.

Het referentie appartementencomplex uit 2018 kent 7 woningtypes. Het gemiddelde verschil tussen de contract- en markthuur is €1,-. Het verschil tussen de contract- en markthuur is een stuk lager omdat het appartementencomplex relatief jong qua bouwjaar waardoor het complex nog niet lang in exploitatie is en de huurcontracten dus een nog korte looptijd kennen. Hierdoor zit de hoogte van de contracturen nog dicht op de geldende markthuur.

Type: Appartementencomplex		Gemiddeld verschil	
Bouwjaar: 2018		contract & markthuur	
Woningtype	Aantal		
		€	1,00
A	2	€	1,12
B	7	€	0,78
C	10	€	1,32
D	13	€	0,95
E	22	€	1,09
F	2	€	0,83
G	7	€	0,90

Tabel 24: Verschil contract- en markthuur referentie appartementencomplex (2018)

Klimaat rondom de woning		Beglaasde geveldelen		Gesloten geveldelen		Koeltechnieken	
Ontharden & vergroenen		Horizontale & verticale screens		Schilderen gevel + groendak		Nachtventilatioeroosters	
Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	
€ 6,81	€ 1,87	€ 21,75	€ 17,63	€ 19,15	€ 16,68	€ 13,21	

Tabel 25: Benodigde huurverhoging (p/m) voor hittestressmaatregelen appartementencomplexen (2018)

Dit heeft tot gevolg dat er geen enkele maatregel via deze strategie kan worden doorberekend via een huurverhoging na mutatie. Gezien de korte exploitatietijd (bouwjaar 2018) dient er ook rekening te worden gehouden met de gemiddelde berekende doorlooptijd van een huurcontract bij een appartement van 5 jaar. Dit kan tot gevolg hebben dat de eerste jaren van de exploitatie een lagere mutatiegraad is dan het gemiddelde waardoor het risico wordt gelopen dat in de eerste jaren na uitrol van een maatregel niet direct de huur verhoogt kan worden.

Eengezinswoningen

Het referentiecomplex eengezinswoningen uit 1983 is opgebouwd uit één woningtype. Het gemiddelde verschil tussen de contract- en markthuur is €59,22.

Type: Eengezinswoningen		Gemiddeld verschil	
Bouwjaar: 1983		contract & markthuur	
Woningtype	Aantal		
		€	59,52
A	27	€	59,52

Tabel 26: Verschil contract- en markthuur referentie eengezinswoningen (1983)

Bij de eengezinswoningen uit 1983 is het mogelijk om individueel een hittestressmaatregel toe te passen. Gezien het gemiddelde is het zelfs mogelijk om een combinatie van maatregelen door te voeren.

Klimaat rondom de woning		Beglaasde geveldelen		Gesloten geveldelen		Koeltechnieken	
Ontharden & vergroenen		Horizontale & verticale screens		Schilderen gevel		Nachtventilatioeroosters	
Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	
€ 44,86	€ 0,10	€ 26,59	€ 21,55	€ 14,17	€ 13,27	€ 17,61	

Tabel 27: Benodigde huurverhoging (p/m) voor hittestressmaatregelen eengezinswoningen (1983)

De referentie uit 1983 bestaat uit 27 eengezinswoningen. Ook voor het woningtype eengezinswoningen is de huidige gemiddelde looptijd berekend van de beschikbare database. Hieruit blijkt dat een gemiddelde looptijd van een huurcontract van een eengezinswoning 9 jaar is. Vanwege het bouwjaar 1983 is er een mix aan looptijd van huurcontracten, waardoor de mutatiegraad van 15% aangehouden kan worden. Dit betekent dat er gemiddeld genomen 4 eengezinswoningen per jaar naar de markthuur

kunnen worden verhoogd en in de meest ideale situatie er 7 jaar over wordt gedaan om de volledige huurverhoging te activeren.

Het referentiecomplex eengezinswoningen uit 2018 bestaat uit 19 eengezinswoningen en is opgebouwd uit acht types. Het gemiddelde verschil tussen de contract- en markthuur is €17,15. Dit verschil is wederom lager ten opzichte van de eengezinswoningen uit 1983.

Type: Eengezinswoningen		Gemiddeld verschil contract & markthuur	
Bouwjaar: 2018			
Woningtype	Aantal		
		€	17,15
A	1	€	1,66
B	3	€	9,08
C	3	€	23,20
D	1	€	23,20
E	4	€	22,46
F	5	€	17,97
G	1	€	22,46
H	1	€	22,46

Tabel 28: Verschil contract- en markthuur referentie eengezinswoningen (2018)

Klimaat rondom de woning		Beglaasde geveldelen		Gesloten geveldelen		Koeltechnieken
Ontharden & vergroenen		Horizontale & verticale screens		Schilderen gevel		Nachtventilatioeroosters
Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud
€ 41,01	€ 0,02	€ 36,50	€ 29,59	€ 15,10	€ 14,14	€ 22,01

Tabel 29: Benodigde huurverhoging (p/m) voor hittestressmaatregelen eengezinswoningen (2018)

Dit laat een vergelijkbaar gevolg zien, namelijk dat niet alle maatregelen via deze strategie kunnen worden doorberekend via een huurverhoging na mutatie. Door de relatieve jonge leeftijd van de woningen is de financiële ruimte tussen de contract- en markthuur te klein om een vrije keuze te hebben in het toepassen van de maatregelen. In dit geval zou je beperkt zijn tot het toepassen van twee hittestressmaatregelen. Gelijk aan het referentiecomplex uit 2018 dient er rekening te worden gehouden dat gezien de korte periode dat de woning in exploitatie zijn, er rekening dient te worden gehouden met de gemiddelde berekende doorlooptijd van een huurcontract bij een eengezinswoning van 9 jaar. Dit kan tot gevolg hebben dat de eerste jaren van de exploitatie een lagere mutatiegraad is dan het gemiddelde waardoor het risico wordt gelopen dat in de eerste jaren na uitrol van een maatregel niet direct de huur verhoogd kan worden.

Deelconclusie en reflectie

De beschreven strategie is gebaseerd op een verschil tussen de contract en markthuur. Bij woningen met een oudere bouwjaar is er een groter verschil tussen de contract en markthuur. Dit zorgt voor een positieve businesscase. Echter de zwakte van deze strategie komt naar voren bij woningen die vanwege het bouwjaar een korte exploitatielooptijd kennen.

Op de beschreven strategie zijn daarnaast een aantal kanttekeningen te plaatsen die de uitwerking van de strategie kunnen beïnvloeden.

1. In de toegepaste markthuren is het financiële effect van hittestressmaatregelen op de markthuren niet doorberekend.
2. Door het toepassen van hittestressmaatregelen kan de huurderstevredenheid stijgen waardoor de mutatiegraad een daling kan laten zien.
3. Bij een daling van de markthuur komt het terugverdienmodel van hittestressmaatregelen in gevaar.

Strategie 3: Huurverhoging na verduurzaming

Het verduurzamen van de bestaande woningvoorraad krijgt steeds meer de aandacht. Wet- en regelgeving speelt hierbij een belangrijke rol. Ook institutionele beleggers willen het bezit graag verduurzamen. Een belegger kan de kosten voortkomend uit een verduurzaming direct doorrekenen aan de huurder door het verhogen van de huur. Dit in lijn met de eerder beschreven strategie.

In het onderzoek van (Booijink, 2011) is onderzocht hoe je huurders mee kunt krijgen in het verduurzamen van huurwoningen. Uit het onderzoek van (Booijink, 2011) blijkt dat *“huurders vaker akkoord gaan met een huurprijsverhoging als er een garantie gegeven kan worden dat de maandelijkse woonlasten niet toenemen”*.

Het effect van het toepassen van een hittestressmaatregel zal een financieel effect laten zien in een verlaging van het energieverbruik uitgaande dat er geen gebruik meer wordt gemaakt van de populaire energie slurpende airco's. Gezien de opkomst van airco's bij Nederlandse consumenten (Hüsken, 2020), wordt in dit onderzoek de airco als uitgangspunt genomen. De brancheorganisatie NVKL rapporteert over 2020 zelfs een stijging van 50% in het aantal verkochte airco's (NVKL, 2021).

Uit het artikel van (Pure-Energie, 2021) blijkt dat *“een vaste airco (single split) waarmee je één kamer kunt koelen verbruikt gemiddeld €0,75 kWh stroom per uur. Stel dat je de airco 16 uur per dag gebruikt, dan zit het stroomverbruik van de airco op 12 kWh per dag”*. Wanneer dit verbruik wordt doorgetrokken over de zomerperiode dan betekent dit 1.080 kWh. Rekening houdend met een gemiddelde stroomprijs van €0,23 per kWh (2021), betekent dit dat een airco €248,40 per zomer kost. Een mobiele airco komt zelfs uit op €331,20 en een airco die meerdere kamers kan koelen (multi split) verbruik in een zomerperiode €546,48 (Pure-Energie, 2021).

Aangezien dit onderzoek zich richt op huurwoningen, wordt er uitgegaan van de jaarlijkse kosten van een mobiele airco. Voor het realiseren van een single of multi split airco dient de huurder namelijk toestemming te verkrijgen van de eigenaar om door de gevel te mogen boren. In de praktijk geeft een institutionele woningbelegger hier geen toestemming voor. Om de kosten van een mobiele airco te vergelijken met de maandelijkse huurverhoging (conform DCF-methode) worden de kosten voor de airco teruggerekend naar 12 maanden, te weten €27,60 per maand elektraverbruik. Daarnaast wordt er rekening gehouden met een gemiddelde aanschafprijs van €450,- (Mobiele airco kosten, 2021) en een technische levensduur van 10 jaar (Onderhoud mobiele airco, 2020). Dit betekent een maandelijkse afschrijving van €3,75,-. De gemiddelde onderhoudskosten worden geschat op €12,50 per maand (Airco onderhoudskosten, 2021). Aangezien de onderhoudskosten niet in verhouding staan tot de hoogte van de aanschafprijs, worden de onderhoudskosten buiten beschouwing gelaten.

Mobiele airco - afschrijving per maand	€	3,75
Mobiele airco - elektraverbruik per maand	€	27,60
Totale maandelijkse kosten mobiele airco	€	31,35

Tabel 30: Maandelijkse kosten mobiele airco

	Klimaat rondom de woning		Gesloten geveldelen		Beglaasde geveldelen		Koeltechnieken
	Ontharden & vergroenen		Schilderen gevel + groendak		Horizontale & verticale screens		Nachtventilatie roosters
	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud	Investering	Investering + onderhoud
Appartementencomplex (1975)	€ 7,23	€ 1,30	€ 21,80	€ 19,50	€ 27,45	€ 22,25	€ 10,48
Appartementencomplex (2018)	€ 6,81	€ 1,87	€ 19,15	€ 16,68	€ 21,75	€ 17,63	€ 13,21
Eengezinswoningen (1983)	€ 44,86	€ 0,10	€ 14,17	€ 13,27	€ 26,59	€ 21,55	€ 17,61
Eengezinswoningen (2018)	€ 41,01	€ 0,02	€ 15,10	€ 14,14	€ 36,50	€ 29,59	€ 22,01

Tabel 31: Benodigde huurverhoging (p/m) voor hittestressmaatregelen bij referentiewoningen

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het merendeel van de maatregelen een besparing is ten opzichte van de maandelijkse kosten van een mobiele airco. Uitzondering op de regel is de doorrekening van het ontharden en vergroenen bij eengezinswoningen waarbij rekening wordt gehouden met een investering en onderhoud. In de praktijk onderhouden huurders van een eengezinswoning zelf het groen. Ook de maandelijkse huurverhoging voor het toepassen van horizontale en verticale screens valt hoger uit. Kanttekening is de kortere levensduur van een mobiele airco (10 jaar t.o.v. 20 jaar van een screen), het elektraverbruik van een mobiele airco en de stijgende elektrakosten voor zowel vaste als variabele kosten. Dit wordt geconcludeerd op basis van het onderzoek van (Planbureau voor de Leefomgeving, 2021) naar de ontwikkelingen in de energierekening tot en met 2030. Deze vergelijkingsstrategie kan

dus worden toegepast om van huurders akkoord te krijgen op het toepassen van hittestressmaatregelen rondom een verduurzaming.

Strategie 4: Geen huurverhoging

Een vierde strategie is om er als institutionele woningbelegger ervoor te kiezen om geen huurverhoging door te rekenen aan de huurders naar aanleiding van het aanbrengen van hittestressmaatregelen. In onderstaande worden de gevolgen van deze strategie op beschrijvende wijze toegelicht.

Financieel effect

Het aanbrengen van energiebesparende maatregelen (zoals hittestressmaatregelen) in een woning vergt van de institutionele woningbelegger een voorinvestering. Echter de opbrengst, zoals de energiebesparing doordat de inzet van een mobiele airco, komt rechtstreeks in de portemonnee van de huurder terecht. Uit onderzoek van (Verhagen, 2014) blijkt dat zonder een huurder een huurverhoging te vragen die (een deel van) de investering dekt er een onrendabele case ontstaat voor de woningbelegger om te investeren in energiebesparende maatregelen.

Een van de motieven om wel (deels) een huurverhoging door te rekenen komt voort uit het onderzoek van (Verhagen, 2014). Uit het onderzoek van (Verhagen, 2014) blijkt dat het (deels) doorberekenen van een huurverhoging, die gebaseerd is op het bedrag dat huurders qua kosten besparen, tot een verkoopprijspremie van 2,98% leidt bij de marktwaardebepaling volgens de DCF-methode. Het onderzoek van (Verhagen, 2014) is uitgevoerd onder een vergelijkbare populatie, te weten institutionele woningbeleggers.

Huurderstevredenheid

Een overweging van een institutionele woningbelegger om geen huurverhoging door te berekenen is omwille van de huurderstevredenheid. Zoals eerder in het onderzoek toegelicht speelt huurderstevredenheid een belangrijke rol bij institutionele beleggers. Jaarlijks wordt er een benchmark onderzoek uitgevoerd onder huurders van verschillende institutionele woningbeleggers. Ook hebben veel Nederlandse institutionele woningbeleggers het thema duurzaamheid (waar klimaatadaptatie onderdeel van is) in het beleid opgenomen. Dit is terug te zien in de jaarverslagen van de institutionele woningbeleggers. Hiermee willen de beleggers een bijdrage leveren aan de klimaatdoelstellingen maar ook om een comfortabele woning te creëren die toekomstbestendig is. Dit moet uiteindelijk leiden tot een hogere huurderstevredenheid, zonder dat dit koste gaat van het benodigde rendement (Tenback, 2016). Wanneer er wordt gekozen om geen huurverhoging door te berekenen dan betekent dit dat alle voortkomende kosten gedragen dienen te worden door de institutionele woningbelegger en daarmee ten laste komen van het rendement.

Is het rendement terug te verdienen door een hogere klanttevredenheid?

Door (Mens Van Boven, 2016) is onderzoek uitgevoerd naar huurderstevredenheid en de invloed op het directe rendement. Uit dit onderzoek is vastgesteld dat er vaak een relatie wordt verondersteld tussen klanttevredenheid en rendement, echter de specifieke invloed is moeilijk meetbaar. Er is dan ook geen systematische relatie gevonden tussen klanttevredenheid en winstgevendheid, dan wel financiële prestaties. Uit het onderzoek komt wel naar voren dat een hogere klanttevredenheid leidt tot meer loyaliteit aan het product, verlaging marketingkosten door mond op mond reclame, verlaging van de transactiekosten en het versterken van de reputatie.

4.5 Efficiëntie

Op basis van het uitgevoerde theorie- en praktijkonderzoek zijn de effectiefste hittestress maatregelen per benadering vastgesteld. Vervolgens zijn deze maatregelen in dit hoofdstuk via de DCF-methode doorgerekend. In deze paragraaf wordt de efficiëntie vastgesteld door de warmtereductie in Celsius af te zetten tegen de berekende huurverhoging uit het DCF-model conform strategie 1.

Klimaat rondom de woning

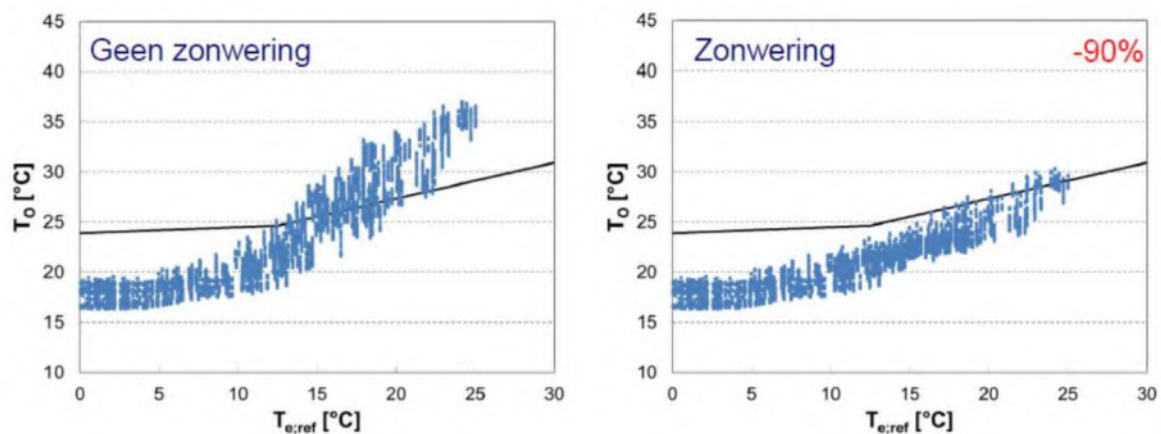
Op basis van het theoretisch onderzoek is het koelend vermogen van groen afhankelijk van de omvang en samenstelling van het groen. Uit onderzoek van (Urban climate lab at the Georgia Institute of Technology, 2016) en (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018) is vastgesteld dat "het temperatuurverschil tussen parken en de omgeving ligt tussen de 1 tot 5°C". Bomen kunnen de luchttemperatuur in stedelijk gebied dus verlagen met een aantal graden. Uit onderzoek van (Klok, Rood, Kluck, & Kleerekoper, 2019) en (Steenbreek, 2020) blijkt dat "het verschil in gevoelstemperatuur tussen een plek die is blootgesteld aan de zon en een locatie in de schaduw van een boom is 3 tot 19°C".

	Klimaat rondom de woning		Reductie op:	Efficiëntie getal = € per graad (°C) reductie	
	Ontharden & vergroenen			Binnentemperatuur (°C) gemiddeld	
	Investing + onderhoud	Investing	Investing + onderhoud		Investing
Appartementencomplex (1975)	€ 7,23	€ 1,30	3	€ 2,41	€ 0,43
Appartementencomplex (2018)	€ 6,81	€ 1,87	3	€ 2,27	€ 0,62
Eengezinswoningen (1983)	€ 44,86	€ 0,10	3	€ 14,95	€ 0,03
Eengezinswoningen (2018)	€ 41,01	€ 0,02	3	€ 13,67	€ 0,01

Tabel 32: Efficiëntie Hittestress maatregel ontharden & vergroenen

Beglaasde geveldelen

Uit onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) blijkt dat "het toepassen van beweegbare zonwering resulteert in 90% afname van het aantal oververhittingsuren". Uit dit onderzoek blijkt dat vanaf een buitentemperatuur van 15°C het toepassen van zonwering een aanzienlijk verschil laat zien op de binnentemperatuur. Op basis van de grafiek wordt bij het toepassen van zonwering een gemiddelde reductie van 5°C vastgesteld.



Figuur 10: effect toepassen beweegbare zonwering (verticale as: binnentemperatuur / horizontale as: buitentemperatuur) (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014)

	Beglaasde geveldelen		Reductie op:	Efficiëntie getal = € per graad (°C) reductie	
	Horizontale & verticale screens			Binnentemperatuur (°C) gemiddeld	
	Investing + onderhoud	Investing	Investing + onderhoud		Investing
Appartementencomplex (1975)	€ 27,45	€ 22,25	5	€ 5,49	€ 4,45
Appartementencomplex (2018)	€ 21,75	€ 17,63	5	€ 4,35	€ 3,53
Eengezinswoningen (1983)	€ 26,59	€ 21,55	5	€ 5,32	€ 4,31
Eengezinswoningen (2018)	€ 36,50	€ 29,59	5	€ 7,30	€ 5,92

Tabel 33: Efficiëntie Hittestress maatregel screens

Gesloten bouwdelen

Uit onderzoeken (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020) en (Cheng & Ng, 2005) blijkt dat lichtere kleuren (wit in plaats van zwart) als buitenafwerking van een gebouw leiden tot aanzienlijke lagere binnentemperaturen (1-5°C) (Cheng & Ng, 2005). Groene daken zorgen daarnaast voor een lagere binnentemperatuur van 3 tot 4°C bij een buitentemperatuur tussen de 25°C en 30°C (Getter & Rowe, 2006). Ook (Niachou, 2001) heeft na onderzoek aangetoond dat binnentemperaturen aanzienlijk kunnen worden verlaagd bij toepassing van een begroeid dak. De mate van daling van de binnen luchttemperatuur hangt sterk samen met de thermische weerstand van het oppervlak. Dit werd ook geconcludeerd door (Theodosiou, 2003).

	Gesloten geveldelen		Reductie op:	Efficiëntie getal = € per graad (°C) reductie	
	Schilderen gevel + groendak			Binnentemperatuur (°C) gemiddeld	
	Investing + onderhoud	Investing	Investing + onderhoud		Investing
Appartementencomplex (1975)	€ 21,80	€ 19,50	3	€ 7,27	€ 6,50
Appartementencomplex (2018)	€ 19,15	€ 16,68	3	€ 6,38	€ 5,56
Eengezinswoningen (1983)	€ 14,17	€ 13,27	3	€ 4,72	€ 4,42
Eengezinswoningen (2018)	€ 15,10	€ 14,14	3	€ 5,03	€ 4,71

Tabel 34: Efficiëntie Hittestress maatregel albedo waarde verhogen

Koeltechnieken

Uit experimenteel onderzoek van (Blondeau, Sperandio, & Allard, 1997) is vastgesteld dat nacht ventilatie ervoor zorgt dat de binnen luchttemperatuur van een woning te verlagen was naar 1,5-2°C. De verlaging resulteerde in een aanzienlijke verbetering van het comfort van de bewoners. Uit onderzoek van Goossens blijkt dat een woning met een zomernachtventilatieluik maar 20 uur per jaar warmer wordt dan 25 graden. Goossens stelt dat zonder een ventilatieluik dit maar liefst 800 uur is (Tresoor, 2021).

	Koeltechnieken		Reductie op:	Efficiëntie getal = € per graad (°C) reductie	
	Nachtventilatiestroosters			Binnentemperatuur (°C) gemiddeld	
	Investing + onderhoud		Investing + onderhoud		
Appartementencomplex (1975)	€ 10,48		1,75	€ 5,99	
Appartementencomplex (2018)	€ 13,21		1,75	€ 7,55	
Eengezinswoningen (1983)	€ 17,61		1,75	€ 10,06	
Eengezinswoningen (2018)	€ 22,01		1,75	€ 12,58	

Tabel 35: Efficiëntie Hittestress maatregel natuurlijke nachtventilatie

Deelconclusie

Uit bovenstaande blijkt dat bij het woningtype appartementen er de hoogste efficiëntie wordt gerealiseerd door in te zetten op het klimaat rondom de woning middels het vergroenen en ontharden. Waarbij bij appartementen het verlagen van het reflectievermogen middels het schilderen van de gevel en het toepassen van een groendak het minst efficiënt is op basis van temperatuurreductie en huurverhoging.

Voor eengezinswoningen is op basis van de eerdergenoemde benadering het meest efficiënte maatregel om de beglaasde geveldelen te voorzien van zonwering/screens. Waarbij inzetten op het klimaat rondom de woning middels vergroenen en ontharden het minst efficiënt is. Dit is te verklaren door de aanwezige tuinoppervlakte per eengezinswoning.

5 Conclusie

In dit hoofdstuk worden de conclusies van dit onderzoek beschreven. In paragraaf 5.1 en 5.2 worden de antwoorden op de deelvragen en centrale onderzoeksvraag (hoofdvraag) beschreven. In paragraaf 5.3 worden er aanbevelingen gedaan die beleggers, vastgoedeigenaren en vastgoedmanager kunnen gebruiken in het management van woningvastgoed. In paragraaf 5.4 wordt er gereflecteerd op het scriptietraject en het uitgevoerde onderzoek.

5.1 Conclusie deelvragen

Om de centrale onderzoeksvraag (hoofdvraag) te kunnen beantwoorden, zijn er bij aanvang van het onderzoek deelvragen geformuleerd (hoofdstuk 1). Op basis van het uitgevoerde theorie- en praktijkonderzoek worden de deelvragen in deze paragraaf beantwoord.

1. Wat is de impact van klimaatverandering/hittestress op gebouw?

Uit onderzoek van (KNMI, 2015) blijkt dat *“wanneer de buitentemperatuur langdurig boven de 25°C is, beginnen mensen last te krijgen van de hitte”*. De grenswaarde voor een comfort ervaring in een woning ligt tussen een binnentemperatuur van 24 - 27°C. Daarbij wordt een slaapkamer het liefst maximaal rond de 24°C gehouden. Voor leefruimtes geldt een comfortbeleving tot maximaal 27°C. Naast de klimaatverandering heeft ook (stedelijke) bebouwing invloed op de buitentemperatuur. Uit onderzoek van (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018) blijkt dat *“door de bebouwing is er minder wind die voor afkoeling kan zorgen. Daarnaast koelen gebouwen 's nachts af door warmte uitstraling”*. Met name in een omgeving waar stedelijke zijn versterken het hitte-eiland effect als gevolg van het verbruiken van energie en produceren van warmte.

2. Wat is de impact van hittestress op wet- en regelgeving?

Uit het theoretisch onderzoek is vastgesteld dat het Nederlands recht geen wettelijk getalsmatige norm voorschrijft voor maximale binnentemperaturen in woningen. Ook de Huurcommissie schrijft niets voor over een maximale binnentemperatuur. Derhalve is jurisprudentie over binnentemperatuur in woningen bestudeerd. In gerechtelijke uitspraken is een temperatuuroverschrijding van 26,5°C voor een duur van 300 uur of langer aangehouden. De rechter heeft daarbij aangegeven dat (Huurgeschil, 2021) *“het ontbreken van een toereikende faciliteit in het gehuurde waarmee de temperatuur in het gehuurde kan worden afgekoeld, een gebrek van de zaak oplevert”*. Ook zijn er uitspraken te vinden waar de rechter de huurder wijst op haar verantwoordelijkheid tot het nemen van maatregelen om de binnentemperatuur te reguleren. Daarbij kan gedacht worden aan het aan de binnenzijde van de woning aanbrengen van zonwering (Gerechtshof 's-Hertogenbosch, 2016) (Huurgeschil, 2021).

3. Wat is er volgens de theorie mogelijk om hittestress in woningbouw tegen te gaan?

4. Welke maatregelen zouden volgens institutionele woningbeleggers en experts bij kunnen dragen bij het tegengaan van hittestress in woningen?

Het uitgevoerde theorie- en praktijkonderzoek naar hittestress maatregelen voor het klimaat rondom de woning, beglaasde geveldelen, gesloten bouwdelen en koeltechnieken hebben de volgende bevindingen opgeleverd.

- Klimaat rondom de woning

Uit onderzoek van (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018) en (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020) is vastgesteld dat *“het toepassen van groen rondom de woning de omgeving actief afkoelt doordat groen water verdampt”*. Er is veel energie nodig voor de verdamping waardoor het de temperatuur verlaagt. Het tweede voordeel van groen is dat het natuurlijke schaduw kan creëren. Uit onderzoek van (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010) blijkt dat *“schaduw kan de inkomende zonnestraling met een factor 10 verlagen”*. Schaduw wordt dan ook gezien als een effectieve maatregel om de gevoelstemperatuur te verlagen.

- Beglaasde geveldelen

Zonintreding wordt gezien als belangrijkste factor voor hittestress. Met de toenemende glasoppervlakte in woningbouw is dit een aandachtspunt. Het beperken van zonnestraling door beglaasde geveldelen is één van de belangrijkste maatregelen bij het creëren van thermisch zomercomfort. Bij het toepassen van zonwerende beglazing of warmte werende folie kan er geen onderscheid worden gemaakt in de zomer en winterperiode. Zonnwarmte wordt altijd in dezelfde mate wordt geweerd. Dit benoemt het voordeel van het toepassen van zonwering (screens). Naast dat zonwering invloed heeft op de

temperatuur in een ruimte geeft de bewoner de mogelijkheid en het gevoel dat zij zelf het klimaat kunnen beïnvloeden, wat een positief effect heeft op de comfortbeleving van de bewoner.

- Gesloten bouwdelen

Vastgesteld is dat het toepassen van lichtere kleuren als buitenafwerking van een gebouw leidt tot aanzienlijke lagere binnentemperaturen (1-5°C). Het toepassen van lichtere kleuren als buitenafwerking zorgt voor een verhoging van het reflectievermogen en dus minder opname van warmte en derhalve een temperatuurdaling in de woning. De albedowaarde/reflectievermogen kan ook verhoogd worden door het toepassen van een groendak. Door het toepassen van een groendak kan de warmtestroom door het dak worden verminderd met als gevolg een lagere binnentemperatuur van 3 tot 4°C bij een buitentemperatuur tussen de 25°C en 30°C. Bij een goed geïsoleerd dak wordt er een lagere binnentemperatuur bereikt van 1 tot 1,5°C. Als maatregelen om de albedowaarde te verhogen noemt de populatie het vergroenen van de gevel of een lichte gevelkleur.

- Koeltechnieken

In de bestaande woningportefeuille zijn de mogelijkheden tot het aanbrengen van installaties beperkt. Derhalve is er gekeken naar passieve koeltechnieken. Het grote voordeel van natuurlijke (nacht) ventilatie is dat de huurder het zelf kan reguleren, het kent geen verbruik, is dus duurzaam en deze maatregel is met minimale middelen toe te passen is. Ook is uit onderzoek gebleken dat natuurlijke (nacht)ventilatie een positieve invloed heeft op de temperatuur in een ruimte. Derhalve wordt uit het theoretisch onderzoek geconcludeerd dat conform de theorie natuurlijke (nacht)ventilatie de maatregel is om hittestress in bestaande woningbouw te voorkomen.

5. Met welke financiële strategieën kunnen hittestress maatregelen worden doorberekend?

Vastgesteld is dat de institutionele woningbelegger op basis van een aantal strategieën een hittestressmaatregel kan doorrekenen aan haar huurders.

- Huurverhoging na woningverbetering geeft een belegger de mogelijkheid om maatregelen tegen hitte door te berekenen aan de huurder. Mits voldaan wordt aan de gestelde voorwaarden, vallen hittemaatregelen onder woningverbetering.
- Huurverhoging na mutatie is gebaseerd op een verschil tussen de contract en markthuur. Bij woningen met een oudere bouwjaar is er een groter verschil tussen de contract en markthuur. Dit zorgt voor een positieve businesscase. Echter de zwakte van deze strategie komt naar voren bij woningen die vanwege het bouwjaar een korte exploitatielooptijd kennen. Door de relatieve jonge leeftijd van de woningen is de financiële ruimte tussen de contract- en markthuur te klein is om een vrije keuze te hebben in het toepassen van hittestressmaatregelen. Daarnaast dient er rekening te worden gehouden met de pas korte exploitatieperiode van de woning en de gemiddelde mutatiegraad.
- Huurverhoging na verduurzaming: Uit het onderzoek van (Booijink, 2011) blijkt dat *“huurders vaker akkoord gaan met een huurprijsverhoging als er een garantie gegeven kan worden dat de maandelijkse woonlasten niet toenemen”*. Het effect van het toepassen van een hittestressmaatregel zal een financieel effect laten zien in een verlaging van het energieverbruik. Geconcludeerd is dat het merendeel van de maatregelen een besparing is ten opzichte van de maandelijkse kosten van een mobiele airco.
- Geen huurverhoging: Een overweging om geen huurverhoging door te berekenen is omwille van huurderstevredenheid en een bijdrage leveren aan de klimaatdoelstellingen door een comfortabele woning te creëren die toekomstbestendig is. Dit moet uiteindelijk leiden tot een hogere huurderstevredenheid. Wanneer er wordt gekozen om geen huurverhoging door te berekenen dan betekent dit dat alle voortkomende kosten gedragen dienen te worden door de institutionele woningbelegger en daarmee ten laste kom van het rendement.

6. Wat zijn de meest efficiënte hittestressmaatregelen op basis van warmtereductie en benodigde huurverhoging?

Voor het woningtype appartementen de hoogste financiële efficiëntie wordt gerealiseerd door in te zetten op het klimaat rondom de woning middels het vergroenen en ontharden. Met relatief een lage huurverhoging is er een hoge reductie te behalen. Dit is te verklaren doordat een appartementencomplex relatief weinig grond heeft ten opzichte van het aantal woningen. Voor eengezinswoningen is het financieel het meest efficiënt om de beglaasde geveldelen te voorzien van zonwering/screens.

5.2 Conclusie hoofdvraag

In dit hoofdstuk worden de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek beschreven. De aanleiding van dit onderzoek is de aanleiding dat wij in Nederland steeds vaker te maken hebben met zomerse dagen voortkomend uit klimaatverandering. Als gevolg daarvan melden huurders zich bij de woningeigenaar met warmteklachten in de woning. Aangezien organisaties steeds meer worden gedwongen om steeds kritischer te kijken naar hun handelen en of dat bijdraagt aan de tevredenheid van de huurder, resulteert dit in een nieuw vraagstuk is het exploiteren van woningvastgoed en derhalve een jong thema in de vastgoedsector.

Dit onderzoek geeft dan ook handvatten aan de institutionele woningbelegger, in de vorm van efficiënte maatregelen, om hittestress in haar bestaande woningportefeuille te voorkomen. Dit met als doel dat de toenemende zomerse dagen niet ten koste gaat van de huurderstevredenheid over het gehuurde. Dit vraagstuk is aanleiding geweest voor het formuleren van de hoofdvraag van dit onderzoek:

“In hoeverre kan de institutionele belegger hittestress in haar woningportefeuille tegengaan?”

Aan de hand van het uitgevoerde onderzoek is het mogelijk om de hoofdvraag te beantwoorden:

Uit het artikel van (Van der Sanden, Leidt een hittegolf tot minder huur, 2020) is vastgesteld dat *“het Nederlands recht geen wettelijk getalsmatige norm voorschrijft voor maximale binnentemperaturen in woningen”*. Als institutionele belegger is het dus lastig te bepalen wanneer er sprake is van hittestress. De belegger kan in deze situaties gerechtelijke uitspraken aanhouden waarbij een temperatuuroverschrijding van 26,5°C voor een duur van 300 uur of langer werd aangehouden. Uit onderzoek van (Huurgeschil, 2021) of een slecht binnenklimaat een gebrek is, is vastgesteld dat *“met name het ontbreken van een toereikende faciliteit in het gehuurde werd beoordeeld als een gebrek”*. Hierop sluit het onderzoek goed aan met een theorie en praktijkonderzoek naar de effectiefste maatregelen om de kans op hittestress te voorkomen. Bij de maatregelen is rekening gehouden dat de maatregelen toepasbaar zijn in de bestaande woningbouw en in verhuurde staat. Op basis van het uitgevoerde theorie en praktijkonderzoek, wordt de institutionele woningbelegger geadviseerd de volgende effectiefste hittestress maatregel aanhouden om hittestress in haar woningportefeuille te voorkomen:

Het klimaat rondom de woning	Vergroenen / creëren van (natuurlijke) schaduw
Beglaasde geveldelen van de woning	Zonwering/screens
Gesloten bouwdelen van de woning	Verhogen van de albedo waarde (reflectie)
Koeltechnieken t.b.v. een woning	Natuurlijke nachtventilatie

Tabel 36: Efficiëntie hittestress maatregelen

De primaire doelstelling van institutionele belegger is om het gewenste rendement te behalen. De financiële strategie speelt dan ook een essentiële rol in de beslissing van institutionele beleggers om over te gaan tot klimaat adaptieve maatregelen. Na onderzoek van een viertal financiële strategieën wordt geadviseerd om de hittestress maatregelen door te berekenen via de financiële strategie *“huurverhoging na woningverbetering”*. Het geeft de belegger de vrijheid om, mits voldaan wordt aan de gestelde voorwaarden van woningverbetering, de kosten voortkomend uit hittestressmaatregelen door te berekenen via een huurverhoging. In tegenstelling tot de andere strategieën heeft deze strategie het voordeel dat de huurverhoging direct over alle woningen in een asset kunnen worden doorberekend en geen afhankelijkheid kent met betrekking tot de mutatiegraad en contract en markthuur.

Middels de financiële efficiëntie is het voor de belegger inzichtelijk geworden met welke maatregel de laagste huurverhoging t.o.v. één graad warmtereductie. Uitgaande van een financiële efficiëntie dient de belegger zich bij appartementen te richten op de omgeving middels het vergroenen en ontharden. Daarbij dient wel de kanttekening te worden geplaatst dat bij hoger gelegen woningen de natuurlijke schaduwwerking niet op gaat en deze efficiëntie naar voren komt door de beperkte hoeveelheid ten opzichte van het aantal woningen. Voor eengezinswoningen is het financieel het meest efficiënt om de beglaasde geveldelen te voorzien van zonwering/screens.

5.2 Aanbevelingen

De in kaart gebrachte theorie en het verrichte praktijkonderzoek geven enkele inzichten die institutionele beleggers, vastgoedeigenaren en vastgoedmanager, kunnen gebruiken in het management van woningvastgoed.

Aanbeveling 1

Allereerst, het zorgdragen dat klimaat adaptieve maatregelen een integraal onderdeel uitmaakt van het managen van woningvastgoed. De institutionele belegger dient zich voor te bereiden op het veranderde klimaat. Door de omgeving en het vastgoed aan te passen aan het veranderde klimaat middels klimaat adaptieve maatregelen, is de acceptatie van hogere temperaturen groter. In een markt met vraagoverschot is het voor een belegger gemakkelijk om woningen aan de man te brengen. Een ontevreden huurder door bijvoorbeeld hittestress kan niet gemakkelijk een andere woning vinden en van de een op de andere dag verkassen. Echter, ook dat tij kan keren. Zeker met de huidige toenemende aandacht vanuit de overheid naar betaalbaarheid van woningen en het verhogen van de woningbouwproductie. Een belegger moet zich er dus, ongeacht de markt, van bewust zijn dat een tevreden huurder langer blijft huren dan een ontevreden huurder.

Aanbeveling 2

Ten tweede, draag er zorg voor dat er bij aankoop van nieuwe woningen zo veel als mogelijk wordt gestuurd op het aanbrengen van klimaat adaptieve maatregelen om hittestress in de exploitatieperiode te voorkomen. Deze aanbeveling heeft betrekking op de bewustwording dat klimaatverandering in Nederland op korte termijn al gaat zorgen voor meer zomerse dagen en tropische nachten. Op dit gegeven kan dus al worden gestuurd om hittestress vraagstukken in de exploitatieperiode te voorkomen. Dit onderzoek heeft zich gericht op het vraagstuk in de bestaande woningportefeuille. Voor een belegger een uitdagend vraagstuk omdat je in bestaande woonsituatie beperkter bent. Bij nieuwbouw zijn er aan de voorkant veel mogelijkheden om een gebouw met aanpassingen hittestress bestendig te maken. Daarbij kan gedacht worden aan oriëntatie van de woning en om de woning te realiseren in een lichtere gevelkleur, te voorzien van overstekken t.b.v. natuurlijke schaduwwerking, en de zon belaste zijde te voorzien van minder glasoppervlakte of zonwering/screens.

Aanbeveling 3

Ten derde, geef huurders de beschikking over voelbare beïnvloeding van de binnentemperatuur in de woning. De beleving van thermisch comfort correleert namelijk het sterkst met ervaren beïnvloeding. Daarbij kan gedacht worden aan de mogelijkheid om zonwering te bedienen, ramen te openen, en ventilatiemogelijkheden om luchtsnelheid te verhogen.

Aanbeveling 4

Ten slotte, stuur als belegger op gedragsmatige adaptatie bij huurders. Dit betekent dat je als belegger bij de huurder stuurt op het aanbrengen van veranderingen in het huurdersgedrag. Daarbij kan gedacht worden aan het aanpassen van kleding en voldoende drinken. Maar ook aan het juist toepassen van natuurlijke (nacht)ventilatie, het op het juiste moment ventileren van de woning. De huurder kan hierover proactief vanuit de belegger geïnformeerd worden middels een notificatie of mailing tijdens zomerse dagen.

5.3 Reflectie

Aan het einde van het scriptietraject is het goed om terug te kijken en te beschrijven wat de impact is geweest op persoonlijk en professioneel vlak. Daarnaast is het goed om te reflecteren op het uitgevoerde onderzoek. Waar ben ik tegenaan gelopen, wat zou ik een volgende keer anders doen, en wat zou ik anderen meegeven voor een mogelijk vervolgonderzoek.

Wat heeft het met mij persoonlijk gedaan?

Het startpunt voor dit onderzoek was een werk gerelateerd vraagstuk naar het oplossen van een vraagstuk over hittestress in de bestaande woningbouw. De verwondering dat er op dat moment geen duidelijke handvatten voorhanden zijn voor het voorkomen van hittestress in de exploitatie van woningvastgoed, was voor mij de motivatie om op zoek te gaan naar oplossingen. Vanuit dit vertrekpunt begon ik gedreven aan mijn scriptieperiode. De hoeveelheid literatuur en invalshoeken zorgden ervoor dat de puzzel, in de vorm van een theoretisch onderzoek, steeds groter werd. Echter heeft dit er ook voor gezorgd dat de puzzelstukjes in elkaar vielen en de inspiratie hebben gegeven om het onderzoek verder te brengen.

Wat heeft het mij gebracht?

Na een uitvoerig theoretisch onderzoek was ik verbaasd over de bevindingen uit de literatuur. Het theoretisch onderzoek heeft mij veel nieuw inzicht gegeven in klimaatverandering, klimaatadaptatie en de impact van hittestress op mens, gebouw en wet- en regelgeving. Ik heb erg veel plezier beleefd aan de uitvoering van het theoretisch onderzoek naar de mogelijkheden om hittestress in woningbouw te voorkomen. De kennis tot mij nemen en vastleggen in een theoretisch kader, gaven wij de handvatten die ik miste in het werk gerelateerde vraagstuk. Vervolgens is het theoretisch kader getoetst in het werkveld bij concullega's en experts. Het praktijkonderzoek heeft mij in contact gebracht met nieuwe relaties. Hieruit kwam naar voren dat meer concullega's met dit vraagstuk te maken hebben. De interviews met de concullega's en experts waren dan ook zeer verhelderend en gaven mij de energie en motivatie om dit relatief jonge thema in de vastgoedsector verder te brengen. De handvatten die dit onderzoek hebben opgeleverd zal ik in mijn werk meenemen en delen zodat de conclusies en aanbevelingen in de praktijk zoveel als mogelijk worden toegepast. Om af te sluiten met de sprekende slogan van a.s.r 'dit is de tijd van doen'.

Wat zou ik een volgende keer anders doen?

Mijn leerpunt van dit scriptietraject is dat ik tijdens het theoretisch onderzoek niet alles gedetailleerd uit moet werken. Mede voortkomend uit nieuws- en leergierigheid heeft dit er tijdens het scriptietraject voor gezorgd dat ik een groot gedeelte van mijn tijd heb geïnvesteerd in het verzamelen en uitwerken van bruikbare literatuur. Ondanks dat ik niet alle literatuur kon toepassen in mijn scriptie heeft het wel mijn inzichten verruimd en kennis vergroot. Het heeft mij dus een stevige basis gegeven voor het verdere onderzoek. In een volgend onderzoek zou ik echter een kritischer theoretisch onderzoek uitvoeren om in deze fase tijd te winnen voor het verdere verloop van het scriptietraject.

Wat heb ik gemist?

Aangezien hittestress een vrij jong thema is in de vastgoedsector heb ik het onderzoek met name uitgevoerd op basis van theoretisch onderzoek. Naar mijn mening dient er meer wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd te worden waarbij er praktijkonderzoek is uitgevoerd naar de werkelijke reducties in graden (Celsius). De onderzoeken die zijn uitgevoerd, zijn met name uitgevoerd in andere delen van Europa of zelfs andere continenten. Dit is uitlegbaar omdat er in deze delen ook een ander klimaat heerst en hittestress dus al langer de aandacht heeft. Echter dient er wel rekening te worden gehouden met een mogelijk andere bouwstijl en bouweigenschappen. Derhalve het volgende advies voor een vervolgonderzoek.

Waar adviseer ik nog vervolgonderzoek op uit te voeren?

Zoals in voorgaand beschreven zit er in de wetenschappelijke literatuur nog een gat wat betreft praktijkonderzoek in Nederland voor hittestressmaatregelen. Mijn advies is dan ook om dit gat op te vullen met een aanvullend vervolgonderzoek. Dit vervolgonderzoek kan voortborduren op de conclusies van dit onderzoek middels een voornamelijk praktijkgericht onderzoek naar de effecten van hittestress maatregelen in Nederlandse woningbouw tijdens Nederlandse zomerse dagen. Mijns inziens kan dit onderzoek het best worden uitgevoerd vanuit een afstudeeronderzoek voortkomend uit een technisch gerelateerde studie van een technische universiteit. Het zou een goede toevoeging zijn aan de bestaande wetenschappelijke kennis en daarmee de Nederlandse vastgoedeigenaar helpen om de Nederlandse woningvoorraad klimaat adaptief te maken.

Bibliografie

- Aalbers, F., & Veuger, J. (sd). *Eindwaarde: waar of niet waar?* Opgehaald van MVGM: https://vgm.nl/nieuwsdoc/236_Artikel-MVGM-Eindwaarde.pdf
- Agentschap NL. (2011, november). *Energiezuinig koelen met warmte- en koudeopslag*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Energiezuinig%20koelen%20met%20warmte%20en%20koudeopslag.pdf
- Airco onderhoudskosten*. (2021, september 14). Opgehaald van Homedeal: www.homedeal.nl/airco/airco-onderhoudskosten/
- Amstelius. (2022, maart 19). *Wat is het split incentive dilemma*. Opgehaald van Amstelius: www.amstelius.nl/ufaqs/wat-is-het-split-incentive-dilemma/
- Amsterdam Rainproof. (2021, mei 3). *Groene gevel*. Opgehaald van Amsterdam Rainproof: www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/groene-gevel
- Arens, E., Zhang, H., Pasut, W., Zhai, Y., Hoyt, T., & Huang, L. (2013). *Air movement as an energy efficient means toward occupant comfort*. California: Stae of California air resources board.
- asr real estate. (2021, maart 21). *Onze visie op duurzaamheid*. Opgehaald van a.s.r. real estate: <https://asrrealestate.nl/mvo>
- Aynsley, R. (2007). *Circulating fans for summer and winter comfort and indoor energy efficiency*. Environment Design Guide.
- Balaras, C. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and Buildings*, 1-10.
- Basher, H., Hasan, M., & Shdhan, A. (2018). Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings. *Sustainable Cities and Society*, 42-58.
- Berkhout, T. (1997). *Risicoanalyse van vastgoed*. Amsterdam: SBV.
- Blasnik, M. (2004). *Impact evaluation of the energy coordinating agency of Philadelphia's cool homes pilot project*. Boston, MA: M. Blasnik & Associates.
- Blondeau, P., Sperandio, M., & Allard, F. (1997). Night ventilation for building cooling in summer. *Solar Energy* 61, 327-335.
- Boezeman, D., Donkers, H., & Van Vijfeijken, B. (2018, december 1). *Hitte wordt hot*. Opgehaald van Geografie: <https://geografie.nl/artikel/hitte-wordt-hot>
- Boezeman, D., Donkers, H., & Van Vijfeijken, B. (2018, augustus 1). *Hitte wordt hot*. Opgehaald van Geografie: <https://geografie.nl/artikel/hitte-wordt-hot>
- Boezeman, D., Donkers, H., & Van Vijfeijken, B. (2018, december 1). *Hitte wordt hot*. Opgehaald van Geografie: <https://geografie.nl/artikel/hitte-wordt-hot>
- Booijink, M. (2011). *Verduurzamen huurwoningen: hoe krijgen we de huurders mee?* Groningen: Rijksuniversiteit Groningen. Opgehaald van https://frw.studenttheses.ub.rug.nl/2846/2/Masterthesis_Manon_Booijink.pdf
- Bosch, P. (2018, juni 25). *Hittestress in gebouwen*. Opgehaald van Klimaatadaptatienederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/congres/congres-hittestress/werksessies/hittestress-gebouwen>
- Bouwen, B. (2016). *Infotiche bouwadvies 6.05: De Aardwarmtewisselaar*. MilieuAdviesWinkel.
- Bouwformatie. (2012). *Handboek duurzaam en energiezuinig renoveren*. Katwijk: Archidat.

- Bouwmeester, H. (2020, mei 29). *Zonwering en zomernachtventilatie grootste TOjuli remmers*. Opgehaald van Lente akkoord: www.lente-akkoord.nl/zonwering-en-zomernachtventilatie-grootste-tojuli-remmers/
- BPIE. (2011). *Europe's buildings under the microscope*. Brussel: BPIE.
- Bracke, J. (2018, mei 30). *Oververhitting in woonruimtes beter voorkomen dan genezen*. Opgehaald van Bouw-energie.be: <https://bouw-energie.be/nl-be/blog/post/oververhitting-in-woonruimtes-beter-voorkomen-dan-genezen>
- Brager, G., Paliaga, G., & Dear, R. d. (2004). Operable windows, personal control and occupant comfort. *ASHRAE Transactions* 4695, 17-35.
- Cailleux, E; Michaux, B.; Loncour, X. (2012). Lichtweerkaatsende dakafdichtingen en zonnepanelen. *WTCB*, 14-15.
- CBS. (2019, februari 26). *Minder verhuizingen in 2018*. Opgehaald van CBS: www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/09/minder-verhuizingen-in-2018
- CBS. (2020, Februari). *Verschillenanalyse eigendom 2018-2019*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/onderzoeksomschrijvingen/aanvullende-onderzoeksbeschrijvingen/verschillenanalyse-eigendom-2018-2019>
- CBS. (2020, februari). *Verschillenanalyse eigendom 2018-2019*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/onderzoeksomschrijvingen/aanvullende-onderzoeksbeschrijvingen/verschillenanalyse-eigendom-2018-2019>
- CBS. (2021, september 9). *Huurharmonisatie*. Opgehaald van CBS: www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/huurharmonisatie
- Centrum Duurzaam Bouwen. (2015). *Bouwen voor aan de toekomst. 21 duurzame tips voor de 21ste eeuw*. Heusden-Zolder: Centrum Duurzaam Bouwen.
- Cheng, V., & Ng, E. (2005). Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, 528-534.
- Climate Protection Partnership Division . (2012). *Reducing urban heat islands: compendium of strategies*. US Environmental Protection Agency.
- College bouw zorginstellingen. (2007). *Hitte de baas*. Utrecht: College bouw zorginstellingen.
- Comfort-Home. (2021, augustus 10). *Klare kijk op de werking van systeem d*. Opgehaald van Comfort-Home: www.comfort-home.be/blog/klare-kijk-op-de-werking-van-systeem-d-54
- Cooperatief Dutch Renewergy. (2021, september 15). *Wat is het split incentive dilemma?* Opgehaald van Cooperatief Dutch Renewergy: <https://dutchrenewergy.nl/ufaqs/wat-is-het-split-incentive-dilemma/>
- Couder, J., & Verbruggen, A. (2008). *Uitbreiding van de tool SAVER-LEAP voor scenario-analyses voor de huishoudens*. Antwerpen: Universiteit Antwerpen.
- Customeyes. (2021, maart 21). *Huurdersonderzoek*. Opgehaald van Customeyes: <https://www.customeyes.nl/producten/ervaringsonderzoek/huurdersonderzoek/>
- De Barquin, F., & Flamant, G. (2010). Pleister voor een zachte klimaatregeling? *WTCB*, 12.
- De Dear, R., Brager, G., & Cooper, D. (1997). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. Sydney: Macquarie University.
- De Vaan, C., Wiedenhoff, J., & Hensen, J. (2010). De mythe van thermische massa. *TVVL Magazine, Volume 39*, 28-31.

- Decker, K. d. (2014, september 10). *The revenge of the circulating fan*. Opgehaald van Lowtechmagazine: <https://www.lowtechmagazine.com/2014/09/circulating-fans-air-conditioning.html>
- DGBC (Regisseur). (2020). *Resilient buildings: privaat en publiek perspectief op fysieke klimaatrisico's* [Film].
- DGBC. (2021, april 5). *Klimaatadaptatie*. Opgehaald van DGBC: <https://www.dgbc.nl/themas/klimaatadaptatie>
- Diersen, P. (2016, maart 31). *Zomernachtventilatielukkig helpt oververhitting voorkomen*. Opgehaald van Aannemervak: www.aannemervak.nl/duurzaam-bouwen/zomernachtventilatielukkig-helpt-oververhitting-voorkomen/
- Diersen, P. (2016, maart 31). *Zomernachtventilatielukkig helpt oververhitting voorkomen*. Opgehaald van Aannemervak: www.aannemervak.nl/duurzaam-bouwen/zomernachtventilatielukkig-helpt-oververhitting-voorkomen/
- Driehuijs, F. (2020, augustus 6). *Houd je hoofd koel koopt niet zomaar een airco*. Opgehaald van One World: <https://www.oneworld.nl/lezen/schone-energie/houd-je-hoofd-koel-koop-niet-zomaar-een-airco/>
- Dura Vermeer. (2021, maart 21). *Voorkomen hittestress*. Opgehaald van Dura Vermeer Save: <https://duravermeersave.nl/toolbox/fysische-factoren/voorkomen-hittestress>
- Duurzaam Gebouwd. (2020, augustus 24). *Hoe pakken corporaties de klimaatadaptatie en hittestress aan*. Opgehaald van Duurzaamgebouwd: <https://www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20200824-hoe-pakken-corporaties-de-klimaatadaptatie-en-hittestress-aan>
- Duurzaam Gebouwd. (2022, maart 13). *Gezonde gebouwen kunnen hittestress de baas*. Opgehaald van Duurzaamgebouwd: <https://www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20190101-gezonde-gebouwen-kunnen-hittestress-de-baas>
- Duurzaamthuis. (2021, mei 24). *Warmtepomp, verwarm of koel je huis met aardwarmte*. Opgehaald van Duurzaamthuis: www.duurzaamthuis.nl/warmtepomp-verwarm-of-koel-je-huis-met-aardwarmte
- Ecomat. (2021, april 20). *Inertie*. Opgehaald van Ecomat: <https://ecomat.be/kennisbank/detail/inertie>
- Energie op maat . (2010). *Lijst met meest gestelde vragen WKO-installatie*. Energie op maat .
- Ensie. (2022, maart 13). *Hittestress*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/anw/hittestress>
- Fakton. (2018, december 31). *Handboek modelmatig waarderen marktwaarde*. Opgehaald van Fakton: www.capitalvalue.nl/documents/3_Diensten/Handboek_marktwaardering_2018.pdf
- Flamant, G. (2010, mei 1). De verschillende functies van zonweringen. *WTCB - nr. 28*, 17-18. Opgehaald van WTCB: www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact28&art=434
- Francois, L. (2014). Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? *WTCB*, 4.
- Gebiedseconomie. (2021, september 6). *Contractuur*. Opgehaald van Gebiedseconomie: www.gebiedseconomie.nl/content/c/contractuur
- Gebiedseconomie. (2021, september 6). *Markthuur*. Opgehaald van Gebiedseconomie: www.gebiedseconomie.nl/content/m/markthuur
- Gebiedseconomie. (2021, september 6). *Mutatiegraad*. Opgehaald van Gebiedseconomie: www.gebiedseconomie.nl/content/m/mutatiegraad
- Gerechtshof 's-Hertogenbosch. (2016, juni 22). *ECLI:NL:GHSHE:2016:879*. Opgehaald van De Rechtspraak: <https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:GHSHE:2016:879>

- Gerin, O. (2010). Warmtecapaciteit van isolatiematerialen en risico op oververhitting. *WTCB nr. 27*, 6.
- Geschilderde gevel*. (2021, augustus 2). Opgehaald van Gevelprotect: www.gevelprotect.nl/geschilderde-gevel/
- Getter, K., & Rowe, B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 1276-1285.
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and buildings* 18, 11-23.
- Goeman, R. (2020, oktober 14). *OpMaat Huurrecht*. Opgehaald van SDU: https://opmaat.sdu.nl/book/SDU_GUIDANCE_p1_117627/p1_117627_po_heading_id_xOW9B7vUW0u5blrx4BFtWA/inhoud/
- Gool, v. P., Jager, P., Theebe, M., & Weisz, R. (2013). *Onroeren goed als belegging*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers.
- Greenhome. (2017, juli 25). *Bodem-water warmtepomp, warmte uit de bodem*. Opgehaald van Greenhome: https://kennis.greenhome.nl/warmtepomp/bodem-water-warmtepomp/#De_bodembron_of_bodemwarmtewisselaar
- Groendak. (2011, mei 12). *Levensduur groendak is nazorg*. Opgehaald van Groendak: www.groendak.nl/levensduur-groendak-is-na-zorg/
- Hage, J. (2021, april 13). *Mobiele airco*. Opgehaald van Consumentenbond: <https://www.consumentenbond.nl/airco/mobiele-airco>
- Harmsen, R., Planje, W., Bakker, E., & Wagener, P. (2009). *Energiebesparing- en CO2-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in de bestaande woningbouw*. ECOFYS.
- Hens. (2003). *Nul energie gebouwen: droom of ooit werkelijkheid*. Antwerpen: TI-KVIV.
- Hens, H. (1993). *Zuinig met energie: in uw belang*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Hoes, P.-J., Trcka, M., Hensen, J., & Hoekstra Bonnema, B. (2011). Hybride adaptieve thermische energieopslag. *TVVL Magazine*, 6-10.
- Hooff, v. T., Blocken, B., Hensen, J., & Timmermans, H. (2014). On the predicted effectiveness of climate adaption measures for residential buildings. *Building and Environment*, 300-316.
- Huizinga, J., & Kolen, B. (2019). *Data analyse sterfte bij hitte*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Hüsken, R. (2020, augustus 30). De airco verovert Nederlandse Huizen. *Algemeen Dagblad*.
- Huurcommissie. (2017, juni). *Gebrekenboek Huurcommissie*. Opgehaald van Huurcommissie: https://www.huurcommissie.nl/fileadmin/afbeeldingen/Downloads/Handleidingen/Gebrekenboek_Huurcommissie__versie_juni_2017.pdf
- Huurcommissie. (2018). *Beleidsboek huurverhoging na woningverbetering*. Huurcommissie.
- Huurcommissie. (2021, augustus 22). *Huurcommissie*. Opgehaald van Huurcommissie: www.huurcommissie.nl/huurcommissie
- Huurcommissie. (2021, augustus 1). *Welke kostenposten vallen onder servicekosten*. Opgehaald van Huurcommissie: www.huurcommissie.nl/faq/servicekosten-en-nutsvoorzieningen/welke-kostenposten-vallen-onder-servicekosten
- Huurgeschil. (2021, april 16). *Te warm*. Opgehaald van Huurgeschil: <https://huurgeschil.nl/tag/te-warm/>

- Huurwoningen. (2021, september 8). *Huurharmonisatie*. Opgehaald van Huurwoningen: www.huurwoningen.nl/info/huurharmonisatie/
- Huurwoningen. (2021, september 12). *Woningwaarderingssstelsel*. Opgehaald van Huurwoningen: www.huurwoningen.nl/info/woningwaarderingssstelsel/
- Inflation. (2021, juli 22). *CPI Inflatie Nederland*. Opgehaald van Inflation: www.inflation.eu/nl/inflatiecijfers/nederland/historische-inflatie/cpi-inflatie-nederland.aspx
- IPD. (2013). *Definitielijst input- en outputparameters*. Almere: IPD.
- Isaac, D. (2002). *Property Valuation Principles*. Palgrave.
- ISSO. (2019). *Kennispaper thermisch comfort*. Opgehaald van ISSO: <https://kennisbank.isso.nl/kennispaper/kennispaper-thermisch-comfort/2019/3>
- IVBN. (2019, oktober). *Visie professionele lange termijn beleggers NL woningmarkt*. Opgehaald van Vastgoedbibliotheek: https://files.vastgoedbibliotheek.nl/Server/getfile.aspx?file=docs/publicaties/site/IVBN/Visie_professionele_lange_termijn_beleggers_NL_woningmarkt.pdf
- IVBN. (2021, april 5). *Middenhuur en institutionele vastgoedbeleggers*. Opgehaald van IVBN: <https://www.ivbn.nl/actueel-artikel-detail/middenhuur-en-institutionele-vastgoedbeleggers>
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S., & Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Elsevier*, 157-164.
- Janssens, A. (2002). Ingangspunten bij het ontwerp van een passiefhuis. *PassiefHuis-Happening*, 32-33.
- Johnston, J., & Newton, J. (1993). *Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements*. London: UK: London Ecology Unit.
- Kennisportaal klimaatadaptatie. (2021, maart 21). *Achtergrondinformatie hitte*. Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/thema-sector/achtergrondinformatie-hitte/>
- Kerckhove, v. d. (2011). *Zomercomfort in passief-huizen: gevoeligheidsanalyse aan de hand van multi-zone energiesimulaties*. Gent: Universiteit van Gent.
- Kersemaekers, J. (2020, februari 3). *Je woning isoleren? Check het bouwjaar*. Opgehaald van Eigen Huis: www.eigenhuis.nl/actueel/blog/2020/02/03/08/00/je-woning-isoleren-check-het-bouwjaar#/
- Kikegawa, Y., & Genchi, Y. (2006). Impacts of city-block-scale countermeasures againsts urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for airconditioning. *Applied Energy* 83, 649-668.
- Klemm, W. (2018). Ontwerprichtlijnen voor hittebestendig stedelijk groen. *Stadswerk magazine*, 8-11.
- Klimaatadaptatie Brabant. (2019, juni 17). *Wat is hittestress?* Opgehaald van Klimaatadaptatie Brabant: <https://www.klimaatadaptatiebrabant.nl/k/n442/news/view/2849/2775/wat-is-hittestress.html>
- Klimaatadaptatie Nederland. (2021, maart 31). *Achtergrondinformatie hitte*. Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/thema-sector/achtergrondinformatie-hitte/>
- Klimaatadaptatiebrabant. (2019, juni 17). *Wat is hittestress*. Opgehaald van Klimaatadaptatiebrabant: <https://www.klimaatadaptatiebrabant.nl/k/n442/news/view/2849/2775/wat-is-hittestress.html>
- Klimaatexpert. (2021, mei 22). *Lucht-Lucht-warmtepomp*. Opgehaald van Klimaatexpert: <https://www.klimaatexpert.com/warmtepomp/soorten/lucht-lucht-warmtepomp>

- Klok, E., Schaminee, S., Duyser, J., & Steeneveld, G. (2012). *De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden*. Utrecht: TNO.
- Klok, L., Rood, N., Kluck, J., & Kleerekoper, L. (2019). Assessment of thermally comfortable urban spaces in Amsterdam during hot summer days. *International Journal of Biometeorology*, 129-141.
- Kluck, J., Klok, L. K., Loeve, R., Bakker, W., & Boogaard, F. (2017). *De klimaatbestendige wijk*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Kluck, J., Klok, L., Solcerova, A., Kleerekoper, L. W., & Loeve, R. (2020). *De hittebestendige stad*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- KNMI. (2015). *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland (herziene uitgave 2015)*. De Bilt: KNMI.
- KNMI. (2015). *Vraag en antwoord hitte*. Opgehaald van KNMI: <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Vraag%20en%20antwoord%20Hitte.pdf>
- KNMI. (2021, maart 23). *Gezondheid*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/producten-en-diensten/gezondheid>
- KNMI. (2021, april 5). *Hittegolven*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>
- KNMI. (2021, maart 28). *Klimaat*. Opgehaald van KNMI: www.knmi.nl/klimaat
- KNMI. (2021, februari 21). *Klimaatverandering*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/producten-en-diensten/klimaatverandering>
- KNMI. (2021, maart 29). *KNMI-klimaatscenario's*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/knmi-klimaatscenario-s>
- KNMI. (2021, januari 5). *Nederland warmt ruim 2 keer zo snel op als de wereldgemiddelde temperatuur*. Opgehaald van KNMI: [/www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld](http://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld)
- Koopmans, S., Ronda, R., & Steeneveld, G. (2018). *Woningbouw en hittestress in een veranderd klimaat: testbed Den Haag*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Krautz. (2021, mei 23). *Actieve koeling*. Opgehaald van Krautz: <https://www.krautz.org/nl-actieve-koeling/>
- Krusche, P., Althaus, D., Gabriel, I., & Weig-Krusche, M. (1982). *Ökologisches Bauen*. Duitsland: Bauverlag BV GmbH.
- Lee, Pietrzyk, Donkers, Liem, & Oostveen. (2013). *Modeling and observation of heat losses from buildings: The impact of geometric detail on 3D heat flux modeling*. EARSeL.
- Lente-akkoord. (2019, mei 20). *Feit of fictie: "Luchtwarmtepomp is energievervlindende airco"*. Opgehaald van Lente-akkoord: <https://www.lente-akkoord.nl/feit-of-fictie-luchtwarmtepomp-is-energievervlindende-airco/>
- Louws, M. (2019, februari 6). *Adiabatisch koelen in de praktijk een duurzaam en steeds minder specialistisch alternatief*. Opgehaald van Koudeenluchtbehandeling.nl: www.koudeenluchtbehandeling.nl/verdieping/adiabatisch-koelen-in-de-praktijk-een-duurzaam-en-steeds-minder-specialistisch-alternatief-95627
- Maeyens, J., & Janssens, A. (2002). Thermisch zomercomfort in natuurlijk geventileerde woningen. *Bouwfysica*, 14-21.
- Mechant, E., & Goossens, P. (2017). Groen bouwen: groene wanden voor duurzame gebouwen en steden. *PCS*, 23-25.

- Mens Van Boven, M. (2016). *Huurderstevredenheid en de invloed op het direct rendement*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Merghani, A. (2004). *Exploring thermal comfort and spatial diversity*. Environmental diversity in architecture.
- Milieucentraal. (2021, mei 23). *Airco en ventilatoren*. Opgehaald van Milieucentraal: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/airco-en-ventilatoren/>
- Mills. (2008). Luke Howard and The Climate of London. *Weather*, 153-157.
- Ministerie van BZK. (2018). *Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG-eisen*. Den Haag: RVO.
- Ministerie van BZK. (2019, maart). *Cijfers over wonen en bouwen*. Opgehaald van Ministerie van BZK: https://datawonen.nl/report/Cijfers_over_Wonen_en_Bouwen_2019.pdf
- Ministerie van Economische Zaken. (2021, mei 25). *Collectieve warmteopslag (WKO) met individuele warmtepomp (WP)*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Collectieve%20warmteopslag%20met%20individuele%20warmtepomp_0.pdf
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. (2021, mei 28). *Dauwpuntkoeling*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Koelen%20met%20dauwpuntkoeling.pdf
- Mobiele airco kosten*. (2021, september 14). Opgehaald van Homedeal: www.homedeaal.nl/airco/mobiele-airco-kosten/
- Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey. (2017). The urban heat Island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of environmental management*, 522-538.
- Multibat. (2021, mei 24). *Ventilatie*. Opgehaald van Multibat: www.multibat.be/blog/ventilatie
- Murray Mitchell, J. (1961). The Temperature of Cities. *Weatherwise*, 224-258.
- Niachou, A. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 719-729.
- Nibe. (2021, mei 22). *Een warmtepomp kan ook koelen*. Opgehaald van Nibe: <https://aardgasvrij.nibenl.eu/werking/een-warmtepomp-kan-ook-koelen>
- Nieman. (2021, april 17). *TO-juli*. Opgehaald van Nieman: <https://www.nieman.nl/specialismen/energie-en-duurzaamheid/to-juli/>
- Nieman. (2022, maart 25). *TO-juli*. Opgehaald van Nieman: www.nieman.nl/specialismen/energie-en-duurzaamheid/to-juli
- Nikolopoulou, M. (2004). Outdoor Comfort. *Spon Press*, 101-120.
- NOS. (2020, juni 23). *Thuiswerken in coronatijd leidt tot recordverkoop aircos*. Opgehaald van NOS: <https://nos.nl/artikel/2338285-thuiswerken-in-coronatijd-leidt-tot-recordverkoop-airco-s.html>
- NVKL. (2021, september 2021). *De airco verovert Nederlandse huizen*. Opgehaald van Nederlandse Vereniging Koudetechniek en Luchtbehandeling: www.nvkl.nl/de-airco-verovert-nederlandse-huizen/
- Olthuis, L. (2020, juni 24). *Het is heet, hoe effectief en duurzaam zijn luchtkoelers en airco's dan?* Opgehaald van Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/beter-leven/het-is-heet-hoe-effectief-en-duurzaam-zijn-luchtkoelers-en-airco-s-dan~b125d1ca/>

- Onderhoud mobiele airco. (2020, augustus 15). Opgehaald van Meerbudget: <https://meerbudget.nl/onderhoud-mobiele-airco/>
- Ottele, M., & Perini, K. (2017). Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical. *Ecological Engineering*, 152-161.
- Ottel , M., Perini, K., Fraaij, A., Haas, E., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and buildings*, 3419-3429.
- Overheid. (2021, april 24). *Wettenbank*. Opgehaald van Overheid: https://wetten.overheid.nl/BWBR0030461/2018-01-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.11
- Paciuk, M. (1989). *The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace*. Wisconsin-Milwaukee: University of Wisconsin-Milwaukee.
- Parsons, K. (2014). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*. CRC Press; 3rd edition.
- P rez, G., Coma, J., Martorell, I., & Cabeza, L. (2014). Vertical Greenery Systems for energy saving in buildings: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 139-165.
- Persson, M., Roos, A., & Wall, M. (2005). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Elsevier - Energy and Buildings* 38, 181-188.
- Peters, B. (2011). *Groene gevels: onderzoek naar de bouwfysische en bouwtechnische eigenschappen van verticaal groen*. Delft: TU Delft.
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2021). *Ontwikkelingen in de energierekening tot en met 2030*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Provincie Oost-Vlaanderen. (2020). *Hittebetendigheid van particuliere woningen*. Provincie Oost-Vlaanderen.
- Provincie Oost-Vlaanderen. (2020). *Infonota: Hittebestendigheid van particuliere woningen*. Provincie Oost-Vlaanderen.
- Pure-Energie. (2021, september 14). *Hoeveel stroom verbruikt een airco*. Opgehaald van Pure-Energie: <https://pure-energie.nl/kennisbank/hoeveel-stroom-verbruikt-een-airco/>
- PWC. (2021, april 5). *Megatrends*. Opgehaald van PWC: <https://www.pwc.nl/nl/themas/megatrends.html>
- Rechtbank Amsterdam. (2015, april 29). *Zoekresultaat - inzien documentECLI:NL:RBAMS:2015:2405*. Opgehaald van De Rechtspraak: <https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RBAMS:2015:2405>
- REScoop MECISE. (2016, 9). *Isolatiematerialen algemeen*. Opgehaald van REScoop MECISE: <cdn.nimbu.io/s/4tn7vz5/assets/3.1%20Isolatiematerialen%20algemeen.pdf>
- Rijksoverheid. (2021, maart 29). *Klimaatadaptatie*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatadaptatie>
- Rijksoverheid. (2022, maart 25). *Gaat de huur omhoog na renovatie?* Opgehaald van Rijksoverheid: www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/woning-huren/vraag-en-antwoord/gaat-de-huur-omhoog-na-renovatie
- Rijkswaterstaat. (2021, april 24). *Bezinning*. Opgehaald van Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/omgevingsthema/bezinning/>
- Rovers, E., Bosch, P., & Albers, R. (2014). *Climate Proof Cities*. Climate Proof Cities.
- RVM. (2020). *Ontwikkleing standaard stresstest hitte*. Den Haag: RVM.

- RVO. (2012). *Literatuurstudie thermisch comfort*. Den Haag: RVO.
- RVO. (2015). *Duurzame comfortinstallaties achtergronden en uitgangspunten voor ontwerp*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/sites/default/files/Duurzame%20Comfortinstallaties%20Achtergronden%20en%20uitgangspunten%20voor%20ontwerp.pdf
- RVO. (2015, oktober 13). *Referentiewoning EPC 0,4 Tussenwoning*. Opgehaald van RVO: <https://d3nxhfluv7nur.cloudfront.net/app/uploads/2018/04/Referentiewoning-tussenwoning-epc-04.pdf>
- RVO. (2017, november 24). *Referentiegebouwen BENG*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/sites/default/files/2017/02/Referentiegebouwen%20BENG.pdf
- RVO. (2018). *Ontwikkeling van koudevraag van woningen*. Den Haag: RVO.
- RVO. (2019, augustus 20). *Rapport grenswaarden zomercomfort nieuwe woningen in Bouwbesluit*. Opgehaald van RVO: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/08/Rapport%20Grenswaarden%20zomercomfort%20nieuw%20woningen%20in%20Bouwbesluit.pdf>
- RVO. (2020, november 4). *Warmte-koudeopslag (WKO)*. Opgehaald van RVO: www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/warmte-koudeopslag-wko
- RVO. (2021, april 17). *Energieprestatie BENG*. Opgehaald van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/indicatoren>
- RVO. (2021, mei 8). *Phase change material (PCM)*. Opgehaald van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/pcm>
- Schilder-weetjes. (2021, augustus 1). *Gevel schilderen*. Opgehaald van Schilder-weetjes: www.schilder-weetjes.nl/schilderen/gevel-schilderen/
- ScienceGuide. (2020, augustus 12). *Lector hittestress: "Het moeilijke is: we hebben er maar een paar weken per jaar last van"*. Opgehaald van ScienceGuide: <https://www.scienceguide.nl/2020/08/lector-hittestress-het-moeilijke-is-we-hebben-er-maar-een-paar-weken-last-van/>
- Senternovem. (2005). *Handboek Handhaving EPN gebaseerd op NEN 5128:2004 en NEN 2916:2004*. Den Haag: Senternovem.
- Shahidan, M., Shariff, M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. (2010). A comparison of mesua ferrea L. and hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and urban planning* 97, 168-131.
- Shove, E. (2004). Social, architectural and environmental convergence. *Environmental Diversity in Architecture*, 19-29.
- Sluis, v. d., & Rolloos, M. (1999). *Techniekinventarisatie mechanische koeling in de utiliteitsbouw*. Apeldoorn: TNO.
- Stadsklimaat. (2021, april 3). Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/stadsklimaat>
- Steenbreek. (2020, mei). *De hittebestendige stad*. Opgehaald van Steenbreek: https://steenbreek.nl/wp-content/uploads/2020/08/hva_2020_hittebestendige_stad_online.pdf

- Stoops, J. (2004). *A possible connection between thermal comfort and health*. Berkeley, CA (United States): Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL). Opgehaald van <https://escholarship.org/uc/item/9j03d7kq>
- Susrova, I. (2015). Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. *Design, Properties and Applications*, 127-153.
- Syntrus Achmea. (2021, september 12). *Achmea dutch residential fund*. Opgehaald van Syntrus Achmea: www.syntrus.nl/beleggen/achmea-dutch-residential-fund
- Ten Have, G., Berkhout, T., & Arnhem, P. (2013). *Taxatieleer Vastgoed 1*. Houten: Noordhoff Uitgevers.
- Tenback, H. (2016). *Energiebesparingsgarantie voor huurwoningen*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Theodosiou, T. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy Build*, 909-917.
- Timax. (2021, april 17). *TOjuli – GTO berekening*. Opgehaald van Timax: <https://www.timax.nl/beng/tojuli/>
- TNO. (2011, mei). *Kennismontage hitte en klimaat in de stad*. Opgehaald van TNO: https://www.tno.nl/media/4361/kennismontage-hitte-en-klimaat-in-de-stad_2011.pdf
- TNO. (2021, maart 30). *Factsheet Hittestress*. Opgehaald van TNO: <https://www.tno.nl/media/3959/factsheet-hittestress.pdf>
- Trends and Changes. (2021, april 5). *Wat zijn micro mega en maxitrends*. Opgehaald van Trends and Changes: <https://www.trendsandchanges.com/home/wat-zijn-micro-mega-en-maxitrends>
- Tresoor, S. (2021, juni 23). *Passief koelen met een zomernachtventilatieluis*. Opgehaald van Warmte365: www.warmte365.nl/nieuws/passief-koelen-met-een-zomernachtventilatieluis-6AA4B0.html
- Tsoumarakis, C., Assimakopoulos, V., Tsiros, I., Hoffman, M., & Chronopoulou, A. (2008). *Thermal performance of a vegetated wall during hot and cold weather conditions*. Dublin: Conference on passive and low energy architecture.
- Unilin Insulation. (2021, april 4). *Bouwfysica*. Opgehaald van Unilin Insulation: <https://www.unilininsulation.com/nl-be/alles-over-isolatie/bouwfysica>
- Urban climate lab at the Georgia Institute of Technology. (2016). *The benefits of green infrastructure for heat mitigation and emissions reductions in cities*. Georgia: The trust for public land's climate-smart cities.
- Van Bijleveld, V. (2020, oktober 14). *Vastgoedbeleggers willen energieverbruik met twee derde terugdringen*. Opgehaald van Finance Ideas: <https://finance-ideas.nl/vastgoedbeleggers-willen-energieverbruik-met-twee-derde-terugdringen/>
- Van Den Broecke, S. (2020, juli 13). *3 bouwtechnieken tegen oververhitting: 'In onze woning wordt het nooit meer dan 23°C*. Opgehaald van Ecobouwers: www.ecobouwers.be/duurzaam-bouwen/artikels/3-bouwtechnieken-tegen-oververhitting-onze-woning-wordt-het-nooit-meer-dan
- Van den Broek, D. (2020, september 26). *Zomerse dagen steeds vaker en vroeger*. Opgehaald van weer.nl: <https://www.weer.nl/nieuws/2020/zomerse-dagen-steeds-vaker-en-vroeger>
- Van den Brom, P. (2013). *Koelen door middel van (nacht)ventilatie*. Delft: TU Delft Bouwtechnologie.
- Van der Sanden, P. (2020, juli 7). *Leidt een hittegolf tot minder huur*. Opgehaald van Advocatie: www.advocatie.nl/opinie-en-blogs/leidt-een-hittegolf-tot-minder-huur/

- Van der Sanden, P. (2020, juli 7). *Leidt een hittegolf tot minder huur?* Opgehaald van Advocatie: <https://www.advocatie.nl/opinie-en-blogs/leidt-een-hittegolf-tot-minder-huur/>
- Van Der Wal, F. (2014, november 4). *Huurverhoging woningverbetering zo dwingt af.* Opgehaald van TomLow Advocaten: www.tomlow-advocaten.nl/nieuws/huurverhoging-woningverbetering-zo-dwingt-af/
- Van Leeuwen, E., De Koning, P., & Winter, H. (2012). *Toolkit klimaatgroen.* Wageningen: BELWadvies.
- Vanderwegen, B. (2019). Oververhitting in je woning voorkomen. *De Koevoet* 187, 22-28.
- Vanderwegen, B. (2019). Oververhitting in je woning voorkomen #2 wat is de impact van technieken? . *De Koevoet*, 44-50.
- Vanwelde, V. (2017). Het thermisch comfort in de zomer handhaven. *Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf*, 28-29. Opgehaald van <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact56&art=852>
- Ventilatiesysteemabcd. (2021, mei 24). *Aardwarmtewisselaar canadese-put.* Opgehaald van Ventilatiesysteemabcd: www.ventilatiesysteemabcd.nl/aardwarmtewisselaar-canadese-put
- Ventilatiesysteemabcd. (2021, mei 23). *ventilatiesysteem-c-of-d.* Opgehaald van Ventilatiesysteemabcd: <https://www.ventilatiesysteemabcd.nl/ventilatiesysteem-c-of-d>
- Verhagen, D. (2014). *De haalbaarheid van een groen energielabel.* Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Vlerken, J. v. (2020, april 28). *Koelen met een warmtepomp.* Opgehaald van Gawalo: <https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/artikel/2020/04/koelen-met-een-warmtepomp-1018633>
- Volkskrant. (2020, juni 24). *Het is heet, hoe effectief en duurzaam zijn luchtkoelers en airco's dan?* Opgehaald van Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/beter-leven/het-is-heet-hoe-effectief-en-duurzaam-zijn-luchtkoelers-en-airco-s-dan~b125d1ca/>
- Welk ventilatiesysteem kiezen?* (2021, augustus 13). Opgehaald van Duco: www.duco.eu/nl/welk-ventilatiesysteem-kiezen
- Wong, N., & Kwang Tan, A. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* , 663-672.
- Woonbond. (2015, juli 14). *Wat is de markthuurl?* Opgehaald van Woonbond: www.woonbond.nl/vraagbaak/wat-markthuurl
- Woonbond. (2019, augustus 28). *Verhuurder moet hitte woning aanpakken.* Opgehaald van Woonbond: <https://www.woonbond.nl/nieuws/verhuurder-moet-hitte-woning-aanpakken>
- WTCB. (2006). *Groendaken: technische voorlichting.* Brussel: WTCB.
- WWF. (2021, maart 21). *Wat zijn de oorzaken van de klimaatverandering?* Opgehaald van WWF: <https://www.wwf.nl/wat-we-doen/focus/klimaatverandering/oorzaken>
- Yeh, Y.-P. (2010). *Green wall: The creative solution in response to the urban heat island effect.* Chung-Hsing: National Chung-Hsing University.
- Zonneveldt, L., & De Groot, E. (2005). *Daglichttoetreding en bezonning in de woonomgeving.* Delft: TNO Bouw en Ondergrond.
- Zonwering expert. (2021, juli 22). *Screens.* Opgehaald van Zonwering expert: www.zonwering-expert.nl/screens/

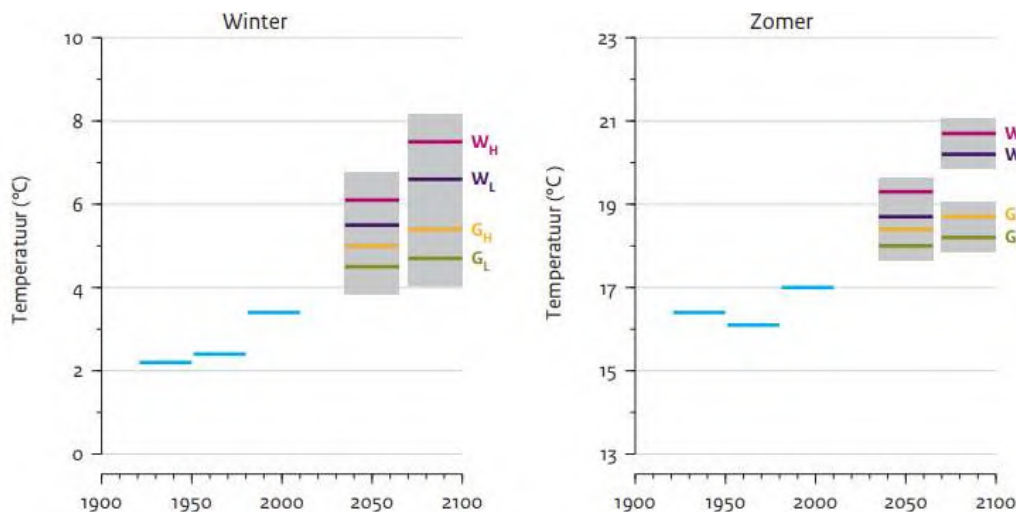
Bijlagen

Bijlage 1: Klimaatverandering

Het klimaat is het gemiddelde weer over een bepaalde periode. Het klimaat verandert onder invloed van natuurlijke factoren zoals bijvoorbeeld vulkaanuitbarstingen en een wisselende hoeveelheid zonlicht. Echter speelde de afgelopen eeuw speelde de mens een doorslaggevende rol door de uitstoot van broeikasgassen. De uitstoot van broeikasgassen wordt veroorzaakt door menselijke activiteiten zoals de verbranding van fossiele brandstoffen. Broeikasgassen zorgen ervoor dat warmte wordt vastgehouden en daardoor stijgt de temperatuur op aarde, dit effect heet het broeikaseffect (Klimaatadaptatie Nederland, 2021). Zonder het broeikaseffect zou de gemiddelde temperatuur op aarde 33°C lager liggen. Zo is de wereldwijde temperatuurstijging van 1°C sinds de tweede helft van de negentiende eeuw volledig toe te schrijven aan de menselijke activiteiten (KNMI, 2021).

In januari 2021 heeft het KNMI de nieuwste cijfers gepresenteerd die het gemiddelde weer in Nederland weergeven. Daarbij is het gemiddelde weer van 1991-2020 vergeleken met het gemiddelde weer van 1961-1990. Het vergelijken van gemiddelden is een manier van het KNMI op klimaatverandering in beeld te brengen. Uit de recente cijfers wordt zichtbaar dat het Nederlandse klimaat aan het veranderen is. De temperatuur is de afgelopen dertig jaar in alle seizoenen toegenomen, in vergelijking met de periode 1961-1990. De toename is het grootst in de lente (1,5°C) en het kleinst in de herfst (0,7°C). Ook wordt zichtbaar dat de weerextremen de laatste dertig jaar sterk zijn veranderd. In de periode 1961-1990 waren er nog gemiddeld 10 ijsdagen per jaar, nu zijn dat er nog circa 6 per jaar. Het aantal tropische dagen is toegenomen van gemiddeld 2 naar 5 dagen per jaar. Ook het aantal zomerse dagen is gestegen van 19 naar 28 dagen per jaar (KNMI, 2021).

Volgens de KNMI'14-scenario's neemt de temperatuur in Nederland ook richting de toekomst toe. In de scenario's is de opwarming in Nederland hoger dan gemiddeld over de wereld. Als gevolg hiervan laten de scenario's zien dat de kans op koude winters relatief sterk afneemt. De temperatuurverschillen tussen de zomer en winter nemen daarentegen toe doordat de temperatuur in warme zomers het sterkst toeneemt. De zomer krijgt meer tropische nachten, met een minimumtemperatuur van 20°C of hoger, en meer zomerse dagen, met een maximumtemperatuur van 25°C of hoger (KNMI, 2015).



Figuur 11: Winter- en zomertemperaturen in De Bilt, Nederland. Drie 30-jarige gemiddelden in blauw), KNMI'14-scenario's (2050 en 2085, in vier kleuren) en natuurlijke variaties (in grijs) van 30-jarige gemiddelden (KNMI, 2015)

Bovenstaand figuur laat zien dat doorkijkend naar 2050 en 2085 in alle vier de KNMI'14-scenario's de temperatuur in Nederland stijgt. Het KNMI heeft voor Nederland vier scenario's (GH, GL, WH, WL) opgesteld die weergeven hoe de luchttemperatuur en andere weervariabelen zich kunnen ontwikkelen tot 2085. De G-scenario's geven varianten weer onder een wereldwijde temperatuurstijging van 1,5°C, de W-scenario's gelden bij +3,5°C wereldwijd.

Figuur 11 geeft het verwachte effect op de temperatuur voor de vier scenario's tot het jaar 2100. De temperatuurstijgingen in de winter zijn iets groter dan in de zomer (RVO, 2018).

Scenario	Klimaat 1981-2010	Verandering in klimaat rond 2050		Verandering in klimaat rond 2085	
		G _L	W _H	G _L	W _H
Gemiddelde temperatuur	17,0 °C	+1,0 °C	+2,3 °C	+1,2 °C	+3,7 °C
Dagmaximum	21,9 °C	+0,9 °C	+2,3 °C	+1,0 °C	+3,8 °C
Warmste zomerdag per jaar	24,7 °C	+1,4 °C	+3,3 °C	+2,0 °C	+4,9 °C
Aantal zomerse dagen (maximale temperatuur ≥ 25 °C)	21 dagen	+22%	+70%	+50%	+130%
Aantal tropische nachten (minimale temperatuur ≥ 20 °C)	0,1 dagen	+0,5%	+2,2%	+0,9%	+7,5%
Zonnestraling	153 kJ/cm ²	+2,1%	+6,5%	+0,9%	+9,5%
Relatieve luchtvochtigheid	77%	-0,6%	-2,5%	0%	-3%

Figuur 12: Verwachte wijzigingen in meteorologische variabelen o.b.v. KNMI klimaatscenario's (alleen zomerperiode) (RVO, 2018)

In figuur 12 zijn weervariabelen weergegeven die belangrijk zijn voor de werkelijke temperatuur en de gevoelstemperatuur binnenshuis. Dit betreffende GL- en Wh scenario's, respectievelijk de laagste- en grootste gemiddelde temperatuurstijging.

Hieruit wordt het volgende geconcludeerd:

1. De gemiddelde temperatuur in de zomer kan in 2050 toenemen met +1 tot +2,3°C en in 2085 met +1,2 tot 3,7°C.
2. Het aantal zomerse dagen (max temperatuur >25°C) in 2050 stijgt de temperatuur op de warmste zomerdag met +1,4 tot 3,3°C. In 2085 worden deze stijgingen mogelijk nog met een factor twee hoger verwacht.
3. Ook het aantal tropische nachten (min temperatuur >20°C) en de totale hoeveelheid zonnestraling licht kan toenemen (RVO, 2018).

Als gevolg van klimaatverandering verandert het gemiddelde klimaat, maar ook de kans op extremen. Het KNMI maakt klimaatscenario's voor Nederland. Deze klimaatscenario's vormen de basis voor onderzoek naar de effecten van klimaatverandering en adaptatie aan die verandering. De meest recente zijn de KNMI'14 scenario's. Deze scenario's vertalen de onderzoeksresultaten voor het wereldwijde klimaat naar Nederland en beschrijven welke klimaatveranderingen in Nederland in de toekomst plausibel zijn. De KNMI'14-klimaatscenario's laten een toekomstbeeld zien van hogere temperaturen, een sneller stijgende zeespiegel, nattere winters, heviger buien en meer kans op drogere zomers (KNMI, 2021).

Bijlage 2: Klimaatadaptatie

Er zijn verschillende vormen van klimaatadaptatie, deze zijn hieronder opgesomd.

1. *Beïnvloeding van de omgeving*

Uit onderzoek van (De Dear, Brager, & Cooper, 1997) blijkt dat *“het van belang is dat mensen beschikken over voelbare beïnvloeding van de omgeving. En dus niet enkel het idee dat mensen het idee hebben dat ze iets kunnen beïnvloeden”*. Uit onderzoek van (Paciuk, 1989) *“correleerde het thermisch comfort het sterkt met ervaren beïnvloeding”*.

De omgeving kan men beïnvloeden door:

- Ramen en deuren openen
 - De temperatuur te veranderen
 - De luchtsnelheid te verhogen
 - De luchtkwaliteit te verbeteren
- Ventilatoren te gebruiken om de luchtsnelheid te verhogen.
- Zonwering toe te passen om warmtestraling en temperatuur te reduceren (RVO, 2012)

2. *Gedragmatige adaptatie*

Dit zijn veranderingen die iemand aanbrengt aan zijn gedrag om het warmtegevoel beter in overeenstemming te brengen met zijn of haar behoeften:

- Aanpassen van kleding
- Aanpassen van stofwisseling
- Drinken van koude dranken
- Verplaatsen naar andere ruimte, terras, tuin (RVO, 2012)

3. *Psychologische adaptatie*

Een bepaalde fysische omgeving geeft verschillende percepties, afhankelijk van de omstandigheden. In tussen- en buitenruimtes blijkt dat mensen een veel grotere spreiding in temperatuur accepteren dan zij binnen zouden doen. Ook is de acceptatie voor hogere temperaturen sterk, naarmate de omgeving minder geconditioneerd is. Psychologische adaptatie is dan ook afhankelijk van:

- Ervaringen met het binnenklimaat over korte en lange termijn
- De ervaringen beïnvloeden de verwachtingen en de hierop afgestemde gedragmatige adaptatie.
- Mensen prefereren, binnen zekere grenzen, een variabel klimaat boven een stabiel of monotoon klimaat (RVO, 2012)

Bijlage 3: Klimaat rondom de woning

De meest voorkomende maatregelen tegen de hitte in de buitenruimte zijn: groen, schaduw en water (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020).

Groen

Groen koelt de omgeving actief af doordat groen water verdampt. Voor de verdamping onttrekken planten warmte aan de omgeving die daardoor afkoelt. Bomen verdampen meer dan struiken. Struiken verdampen meer dan lage planten en gras. Hoe meer bladoppervlak het groen heeft, hoe meer verdamping. Ter vergelijking, op een warme dag heeft een boom door water verdamping een meer koelend vermogen dan tien airco's. Groen wordt dan ook gezien als de meest effectieve manier om de buitenomgeving te koelen. (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018). Hierbij sluiten (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020) zich aan dat groene ruimtes de temperatuur verlagen omdat er veel energie nodig is voor de verdamping.

Het koelend vermogen is afhankelijk van de omvang en samenstelling van het groen. De temperatuurverschillen tussen parken en de omgeving ligt tussen de 1 tot 5°C. Bomen kunnen de luchttemperatuur in stedelijk gebied dus verlagen met een aantal graden (Urban climate lab at the Georgia Institute of Technology, 2016). Bij de keuze voor groen is het echter wel belangrijk dat er gekozen wordt voor effectief groen. Dit betekent dat er voor de specifieke locatie een ontwerpkeuze gemaakt dient te worden op basis van de plaatselijke ruimtelijke en functionele omstandigheden, een microklimaatanalyse (schaduw en wind) en de gedragspatronen van de gebruikers (Klemm, 2018) .

Schaduw

Het principe van schaduw bestaat uit het afvangen van zonnestraling, zodat de energie die het oppervlak bereikt kleiner wordt (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020). Schaduw kan de inkomende zonnestraling met een factor 10 verlagen (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010). Het verschil in gevoelstemperatuur tussen een plek die is blootgesteld aan de zon en een locatie in de schaduw van een boom is 3 tot 19°C (Klok, Rood, Kluck, & Kleerekoper, 2019). Schaduw is dan ook de meest effectieve manier om de gevoelstemperatuur van een mens omlaag te brengen. Er zijn verschillende manieren waarop steden in schaduw kunnen voorzien. Gebouwen zorgen voor veel schaduw, maar bomen zijn veruit de beste oplossing omdat ze niet alleen voor schaduw zorgen, maar ook bijdragen aan koeling. Als er weinig ruimte voor bomen dan kan een pergola eveneens een goede optie zijn voor het creëren van schaduw (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020).

Water

Net als groen heeft water een verkoelend effect op de luchttemperatuur door verdamping en absorptie van warmte. Daarbij kan gedacht worden aan vijvers, sloten of fonteinen. Het nadeel is dat water 's nachts de opgenomen warmte weer afstaat en daarmee afkoeling van de omgeving afremt. Stromend water werkt het best, omdat het de opgenomen warmte kan afvoeren naar elders (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018). Water verdampt warmte effectiever wanneer water uit kleine druppels bestaat. Open water verkoelt de lokale luchttemperatuur met circa 1°C, terwijl vernevelingssystemen de luchttemperatuur lokaal met gemiddeld 0,7 tot 3°C kunnen verlagen (Kluck J. , Klok, Solcerova, Kleerekoper, & Loeve, 2020). Het nadeel van hittemaatregelen die om water vragen is dat hittegolven en droogte vaak gelijktijdig kunnen voorkomen (Boezeman, Donkers, & Van Vijfeijken, Hitte wordt hot, 2018).

Bijlage 4: Hitte-index en PMV-methode

Hoe warmte door de mens wordt ervaren wordt vaak uitgedrukt in de zogenoemde hitte-index. Eén van de indicatoren die aangeven hoe warmte wordt ervaren is de temperatuur van de lucht (RVO, 2018). Van groot belang is ook de relatieve luchtvochtigheid, de straling van de zon en de wind. Het menselijk lichaam zal warmte proberen af te voeren door middel van transpiratie. Bij een hogere luchtvochtigheid zal dat proces moeilijker verlopen. Directe zonnestraling zorgt voor een verhoging van de warmtestress op het menselijk lichaam. Wind heeft juist een verkoelend effect (KNMI, 2015).

De hitte-index, op basis van de formule van de Amerikaan Robert Steadman, beschrijft de warmteoverdracht tussen lichaam en omgeving. Deze hitte-index wordt bepaald door een combinatie van temperatuur en vochtigheid. De hitte-index is opgebouwd uit vier waarschuwningsniveaus, welke gekoppeld zijn aan de (mogelijke) gevolgen voor de gezondheid bij grote lichamelijke inspanning. De hitte-index geeft informatie over de warmtestress op een bepaald moment. In het Nederlandse klimaat ligt de relatieve luchtvochtigheid meestal boven 60%, dus temperaturen boven de 30-35°C kunnen als 'gevaarlijk' worden bestempeld. Daarnaast valt in de hitte-index op dat de relatieve vochtigheid in de klimaatscenario's maar weinig verandert of zelfs iets terugloopt. Ook de gemiddelde windsnelheid lijkt weinig te veranderen. Om de kans op hittestress te verkleinen en hittestress te bestrijden dient er alleen rekening te houden met de veranderingen in de temperatuur (RVO, 2018).

Hitte-index volgens Steadman (KNMI)

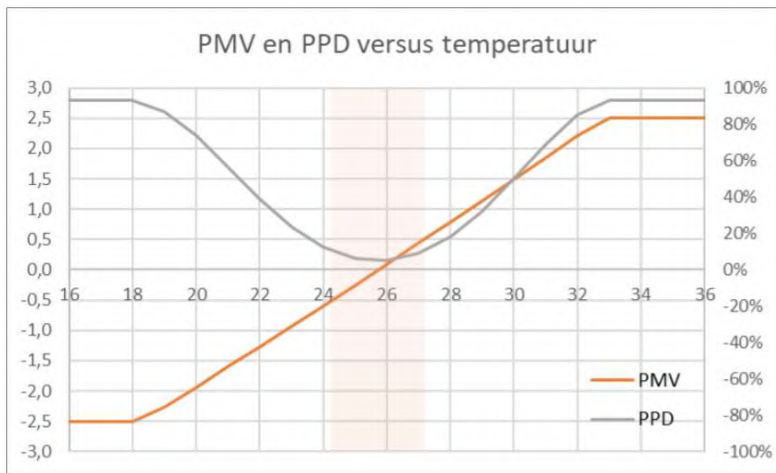
Temp	Relatieve luchtvochtigheid in procenten										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50 °C	44	49	56	61							
45 °C	40	43	46	52	59	61					
40 °C	36	38	40	43	46	51	56				
35 °C	32	33	34	35	37	39	42	45	50		
30 °C	27	28	28	29	30	31	31	32	34	36	38
25 °C	23	23	24	24	25	25	25	25	26	26	26
20 °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Groot gevaar
Gevaar
Voorzichtigheid geboden
Blijf alert

Figuur 13: Hitte-index volgens Steadman op basis van temperatuur en vochtigheid (RVO, 2018)

PMV-methode

De PMV-methode is afgeleid uit de behaaglijkheidstheorie van Fanger en geeft aan welk percentage van de bewoners ontevreden zijn over de kwaliteit van het thermisch binnenklimaat (PDD). De PDD volgt uit de PMV die aangeeft hoe het thermisch binnenklimaat door de gemiddelde gebruiker wordt beoordeeld. De PMV wordt uitgedrukt in een getal dat doorgaans ligt tussen -3,0 (koud) en +3,0 (heet). Bij een PMV van 0,0 (=neutraal) zijn de bewoners gemiddeld genomen het meest tevreden over de thermische behaaglijkheid in een ruimte. Als aan de behaaglijkheid wordt meestal gesteld dat de PMV in een ruimte maar een bepaald aantal uren buiten de grens -0,5 , PMV < 0,5 mag komen (Ministerie van BZK, 2018).



Figuur 14: Verband tussen PMV, PDD en temperatuur (oranje markering is comfortabele gebied) (Ministerie van BZK, 2018)

Bijlage 5: Beglaasde geveldelen van de woning

In dit onderzoek zijn een drietal maatregelen voor beglaasde geveldelen onderzocht, te weten: optimaliseren van de glasgrootte en oriëntatie, zonwerende beglazing of folie en zonwering (screens).

Optimaliseren van de glasgrootte en oriëntatie

De grootte (oppervlakte), oriëntatie en hellingshoek van het glas in een woning hebben invloed op het energiegebruik voor ruimteverwarming in de winter alsmede het passief koel houden van de woning in de zomerperiode (Couder & Verbruggen, 2008). Bij het ontwerp van een woning dient er gelet te worden op schuine glasstroken. In de zomer staat de zon hoog, hierdoor staat de invalshoek van de zon bijna loodrecht op het glas zodat er veel zonnewarmte de woning binnentreedt. In de winter heeft het glas als nadeel dat schuin glas in de nacht veel warmte verliest. Verticale ramen laten in de zomer een kleinere bundel van de hoge zomerzon door. In de winter kan de lage zon er veel beter door (Centrum Duurzaam Bouwen, 2015). Bij renovatie of vernieuwbouw zijn de mogelijkheden qua aanpassing van oriëntatie en helling van de beglazing echter zeer beperkt (Hens, 2003).

Zonwerende beglazing of folie

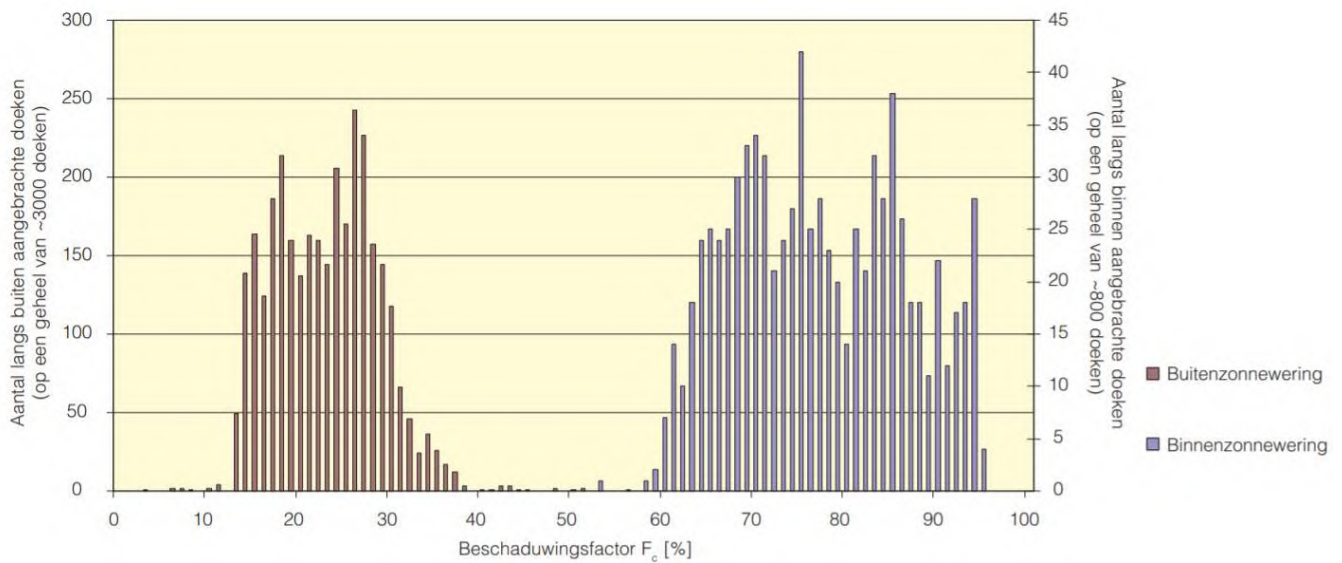
Bij het gebruik van zonwerende beglazing of warmte werende folie wordt de zonnewarmte altijd in dezelfde mate geweerd en kan er dus geen onderscheid worden gemaakt in zomer en winterperiode. In de winterperiode wordt de (gewenste) zonnewarmte dus ook buitengehouden (Senternovem, 2005). Daarnaast heeft een zonwerende beglazing of warmte werende folie ook een lagere lichtdoorlatingsfactor ten opzichte van klassieke beglazing. Een lagere lichtdoorlatingsfactor zorgt voor minder lichtinval en dus een donkere kamer. Zonwerende beglazing of warmte werende folie heeft daarnaast een g-waarde (mate van zonnetoetreding) tussen de 25% en 40%. Dit heeft een matig tot weinig effect qua zonwering (Vanderwegen, Oververhitting in je woning voorkomen, 2019).

Zonwering (screens)

Door het toepassen van zonwering voor beglaasde geveldelen van een woning, wordt voorkomen of verminderd dat zonnestraling door de ramen de woning binnenkomt. Het toepassen van zonwering resulteert in een lagere binnenlucht- en oppervlaktetemperaturen in vergelijking met een situatie zonder zonneschermen (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014). Het voordeel van het gebruik van zonwering is dat in de zomerperiode de zonnewarmte bewust buitengehouden kan worden, en deze in de winter bewust binnen kan worden gelaten (Senternovem, 2005).

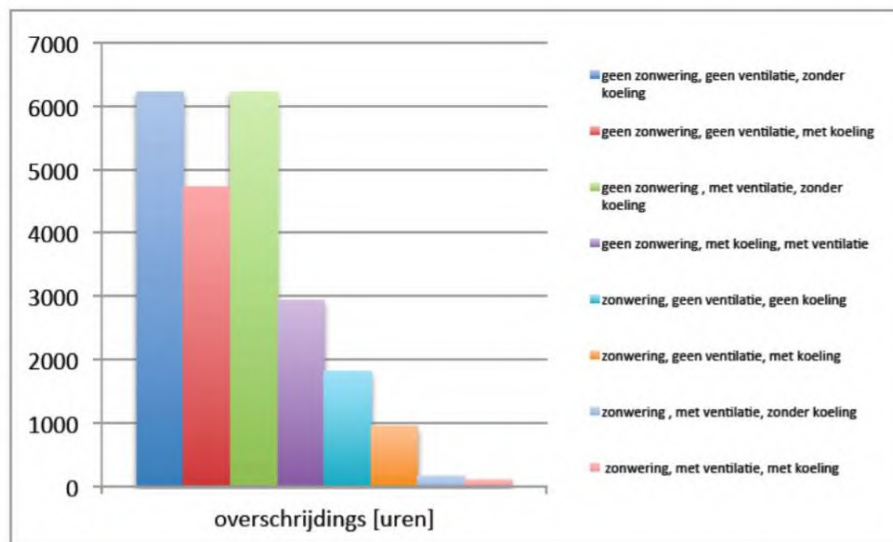
De meest efficiënte locatie van zonwering is aan de buitenzijde van het raam. Hierdoor wordt de zonnestraling geblokkeerd voordat deze de woning kan binnendringen (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014). Uit onderzoek van (Flamant, 2010) blijkt eveneens dat het toepassen van (buiten-) zonwering een aanzienlijke beperking van de zonnewinsten is en ook de temperatuurstijging in de ruimte beperkt. Daarnaast vermindert de zonnestraling die rechtstreeks invalt op de gebruikers in de buurt van de glasopening. In figuur 15 is een vergelijking te zien tussen de beschaduwingsfactoren van buiten- en binnen zonneweringen voor een beglazing. Hoe lager de beschaduwingsfactor, hoe beter de thermische prestatie van de zonwering. De beschaduwingsfactor is uitgedrukt in F. De afbeelding laat de F-factor zien die berekend werd aan de hand van de zonne-eigenschappen die gemeten werden op enkele honderden doeken die langs de buiten- en binnenzijde van een dubbele isolerende beglazing werden geplaatst. Hieruit blijkt eveneens dat de buitenzonneweringen veel doeltreffender zijn (lagere beschaduwingsfactor) (Flamant, 2010).

Daarnaast vermindert de zonnestraling die rechtstreeks invalt op de gebruikers in de buurt van de glasopening, waardoor het thermische comfort toeneemt. Zonnewering waarborgt daarnaast het visuele comfort door de daglichttoevoer zodanig te beheersen dat men over de geschikte hoeveelheid licht beschikt maar het risico op verblinding te beperken (Flamant, 2010).



Figuur 15: vergelijking tussen de beschaduwingsfactoren van buiten- en binnenzonneweringen (Flamant, 2010)

Uit het onderzoek van (Van den Brom, 2013) is onderzocht of het gebruik van zonwering essentieel is om de gewenste temperaturen van een woning te behouden. Hieruit is gebleken dat zonwering een grote invloed heeft op de temperatuur in een ruimte. In het onderzoek wordt gesteld dat het zonder zonwering (bijna) niet mogelijk is om een ruimte met beglaasde geveldelen, binnen de gestelde temperatuur grenzen te houden. In het onderzoek is een gebouw met zonwering en ventilatie vergeleken met een gebouw zonder deze voorzieningen. Wanneer er geen zonwering en ventilatie wordt toegepast dan worden overschrijdingsuren erg vaak overschreden. Bij het toepassen van zonwering en ventilatie wordt het aantal uren dat de maximale temperatuur wordt overschreden bijna verwaarloosbaar. In dit onderzoek wordt dus geconcludeerd dat zonwering essentieel is om een ruimte met externe warmtelast op de gewenste temperatuur te houden.



Figuur 16: Overschrijdingsuren, invloed zonwering

Bijlage 6: Conclusie warmtemetingen beglaasde geveldelen



4 Conclusie

In opdracht van a.s.r. real estate is in een pilot onderzoek verricht naar het effect van twee verschillende zonwerende maatregelen. In het appartementengebouw aan de Wibautstraat 64A-78W is in drie woningen zonwerende folie van 3M aangebracht en in 3 woningen beweegbare buitenzonwering (screens).

Uit klimaatmetingen blijkt dat beide maatregelen een positief effect hebben in het beperken van het risico op oververhitting. Wel zijn er een aantal verschillen tussen de maatregelen zichtbaar:

- Zonwerende folie van 3M is altijd aanwezig en zorgt daardoor voor een permanente vermindering van zontoetreding. De temperatuur in de woningen met zonwerende folie is als gevolg daarvan het laagst. Kanttekening hierbij is dat in deze woningen ook het meest gespuid wordt.
- Zodra de zonwering wordt neergelaten heeft deze maatregel het meeste effect in het verminderen van zontoetreding. Met name op de warmere dagen werkt deze maatregel beter. Het effect van zonwering is tevens direct merkbaar voor de bewoners.

Uit de bewonersinterviews blijkt dat de bewoners met zonwering (in beperkte mate) meer tevreden zijn dan de bewoners met zonwerende folie. De zonwering kan door de bewoner bediend worden, waardoor de bewoner beter in staat is het klimaat in de woning te beïnvloeden.

De capaciteit van de mechanische ventilatie is in alle bezochte woningen gemeten en blijkt beperkt te zijn. De capaciteit voldoet niet aan de gestelde uitgangspunten bij de transformatie en in de meeste woningen wordt ook niet aan de eisen uit het Bouwbesluit voldaan. Dit heeft een negatief effect op het beperken van oververhitting op de momenten dat de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur. Geadviseerd wordt om de mechanische ventilatie te verbeteren.

Cauberg Huygen B.V.

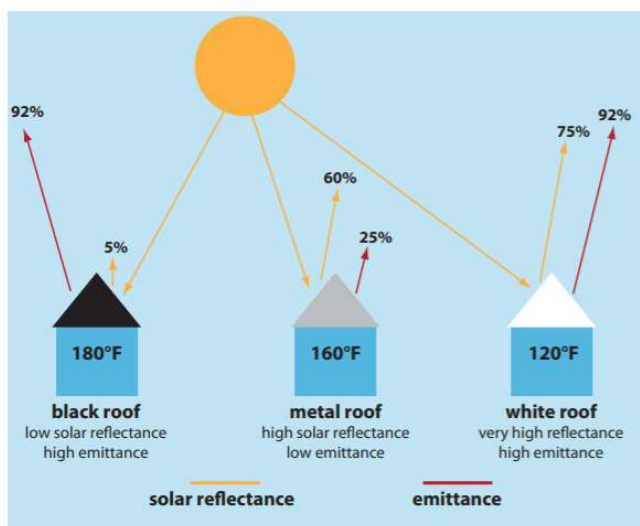
De heer ir. M. Spiereburg
Adviseur

Bijlage 7: Gesloten bouwdelen van een woning

Reflectievermogen buitenafwerking

In landen met een mediterraan klimaat, zoals Griekenland, is het vrij gebruikelijk om de gevel van gebouwdelen wit te schilderen om hiermee de reflectie te verhogen (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014). Licht weerkaatsende buitenafwerking heeft als doel om zonnestrallen meer te weerkaatsen en dus minder te absorberen. Daardoor daalt de temperatuur van een gevel of dak en hiermee daalt ook de hoeveelheid warmte die overgedragen wordt naar binnen (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020). (Cheng & Ng, 2005) hebben in een onderzoek aangetoond dat lichtere kleuren (wit in plaats van zwart) als buitenafwerking van een gebouw leiden tot aanzienlijke lagere binnentemperaturen (1-5°C) (Cheng & Ng, 2005). Hieruit kan geconcludeerd worden dat met het oog op de binnentemperatuur in de woning een donkere afwerking voor gevels en daken niet is aan te bevelen.

Het reflectievermogen van een materiaal wordt gekenmerkt door de Solar Reflectance Index (SRI) of de albedowaarde en wordt uitgedrukt in een percentage waarmee een oppervlakte zonne-energie reflecteert. Een traditioneel (donker) plat dak heeft een lage SRI van 5 tot 15%, dit betekent dat 85 tot 95% van de warmte geabsorbeerd wordt in plaats van teruggekaatst wordt. Bij een lichtgekleurde dakbedekking op een plat dak, kan de SRI naar 70%. De kleur van het materiaal heeft dus een belangrijke invloed op de hoogte van het reflectievermogen (Climate Protection Partnership Division, 2012). Voor de binnentemperatuur is het effect van de kleur van een dakafwerking belangrijker bij een plat dak dan bij een gevel of een hellend dak. Dit komt omdat een gevel of een hellend dak voorzien is van geventileerde spouw, waardoor de warmte niet direct via geleiding kan worden doorgegeven (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020).



Figuur 17: Voorbeeld van gecombineerde effecten van zonnereflectie op dakoppervlaktetemperatuur (Climate Protection Partnership Division, 2012)

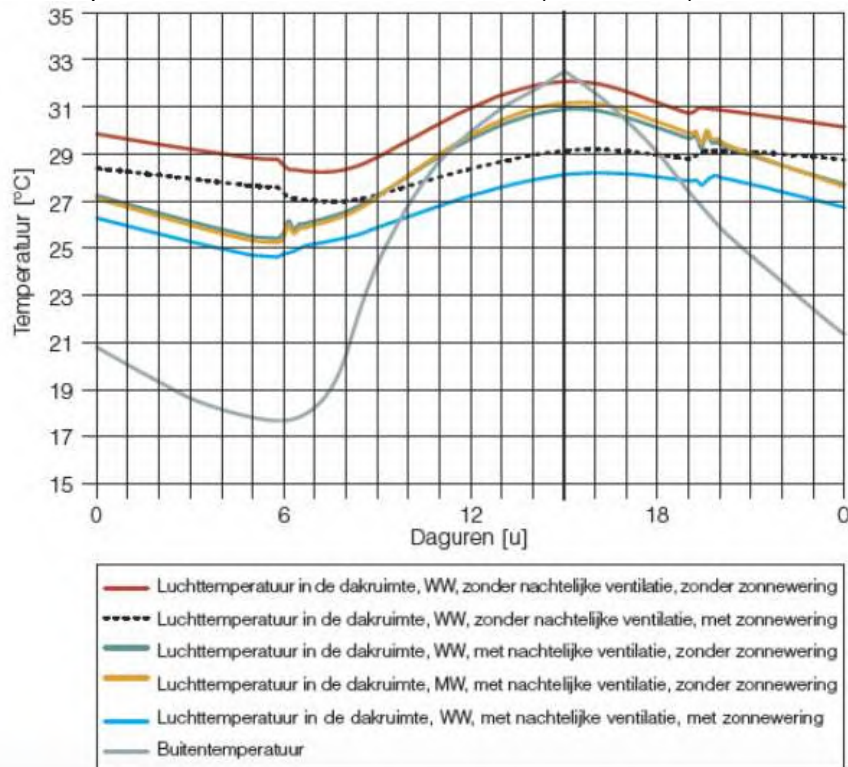
Door de vraag naar licht weerkaatsende daken worden er tegenwoordig membranen met een lichte kleur en licht weerkaatsende verven aangeboden. Zo zijn er voor alle daktypes licht weerkaatsende verven voorhanden (Cailleux, E; Michaux, B.; Loncour, X., 2012). In Philadelphia, Amerika is er een onderzoeksprogramma uitgevoerd om licht weerkaatsende daken en isolatie toe te voegen aan woningen die niet voorzien zijn van een airconditioning. Uit de studie bleek dat op een dag met een buitentemperatuur van 35°C er een binnentemperatuur verlaging van 1,3°C werd gerealiseerd (Blasnik, 2004).

Het nadeel van licht weerkaatsende dak afdichtingen is dat deze metertijd vuil worden. De afzetting van stof en vuil samen met biologische groei leidt tot een weerkaatsingsafname van 20%. Hierdoor kan het effect al na enkele maanden sterk afnemen. Om de weerkaatsende werking op peil te houden dient het dak dus regelmatig gereinigd te worden (Cailleux, E; Michaux, B.; Loncour, X., 2012). Daarnaast dient er bij een licht weerkaatsende dak afdichting rekening te worden gehouden met verblinding, met name wanneer er een balkon met een raam zich boven een licht weerkaatsend dak bevindt (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020).

Isoleren

In de afgelopen decennia zijn de minimale vereiste voor thermische weerstanden in Europese landen aanzienlijk verhoogd om het energieverbruik t.b.v. verwarming te verminderen (BPIE, 2011). Een ongewenst effect van toenemende isolatieniveaus van geveldelen is dat tijdens warme zomerdagen er eenmaal een hoge binnentemperatuur wordt bereikt, deze ook langer aanhoudt dan bij een lagere thermische weerstand. Dit komt omdat er bij een lagere thermische weerstand meer warmteoverdracht mogelijk is. Om dit te voorkomen benadrukt (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) het belang van (buiten)zonnewering en ventilatie, met name bij moderne en goed geïsoleerde woningen.

Het negatieve effect van isolatie blijkt in de praktijk slecht een kleine rol te spelen in de oververhitting van woningen (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020). In het onderzoek van (Gerin, 2010) is vastgesteld dat de invloed van het isolatiemateriaal (groene en gele kromme) op de binnentemperatuur veel beperkter is dan deze van de ventilatie (rode kromme) of van het gebruik van een doeltreffende zonnwering (blauwe kromme). Op basis van de simulatie heeft de aard van het isolatiemateriaal dus slechts weinig invloed op het thermische comfort in de zomer (Gerin, 2010).



Figuur 18: Simulatie van de binnentemperatuur in een dakruimte met 18cm isolatiemateriaal (Gerin, 2010)

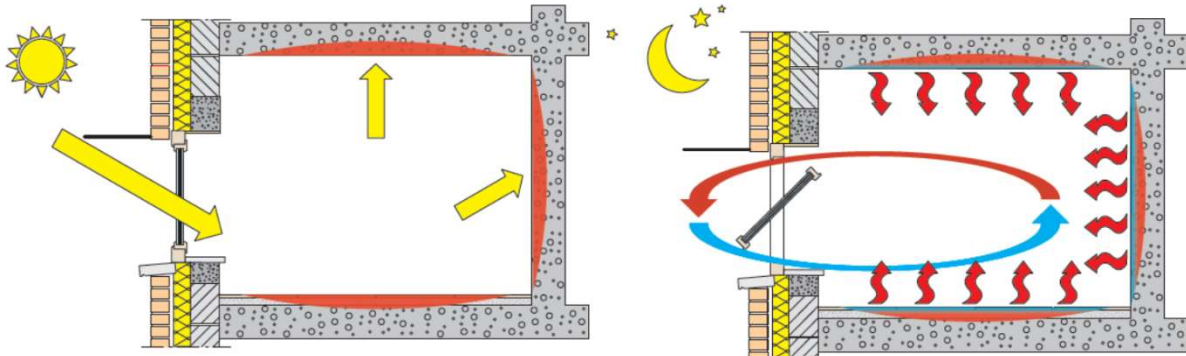
Algemeen wordt aangenomen dat warmtecapaciteit van het isolatiemateriaal bepalend is voor hoe goed de hitte wordt buitengehouden. De warmtecapaciteit hangt af van het type isolatiemateriaal. Hoe hoger de warmtecapaciteit, hoe minder snel de warmte wordt doorgegeven aan de binnentemperatuur (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020). De warmtecapaciteit van minerale isolatiematerialen is lager dan van natuurlijke isolatiematerialen. De warmtedoorslag van minerale isolatiematerialen (met een dikte van 10 cm isolatie) gebeurt al na 1 uur, bij natuurlijke materialen is dit pas na 6 uur. Dit komt omdat natuurlijke materialen een grotere warmteopslagcapaciteit hebben dus beter warmte bufferen (REScoop MECISE, 2016). Echter volgens studie van (Gerin, 2010) zou de impact van warmtecapaciteit op hitte zeer beperkt zijn en dus geen effectieve maatregel tegen oververhitting.

d (cm)	Glaswol (uur)	Cellulose / papiervlokken (uur)
10	1,6	7,5
20	6,3	30

Figuur 19: Warmtedoorslag van minerale isolatiematerialen (bijv. glaswol) en natuurlijke isolatiematerialen (bijv. cellulose) (REScoop MECISE, 2016)

Thermische massa

In de zomer zorgt de thermische massa van het gebouw ervoor dat de warmte die overdag geproduceerd wordt door de bezonning of de aanwezigheid van mensen, machines of verlichting, deels opgeslagen wordt. Wanneer de ruimtetemperatuur 's avonds of 's nachts afneemt, dan wordt de opgeslagen warmte langzaam terug afgegeven. Indien tijdens de warme zomerdagen de ruimtetemperatuur te weinig daalt, dan wordt de opgeslagen warmte onvoldoende vrijgegeven waardoor de temperatuur in de ruimte verder zal toenemen (Francois, 2014).



Figuur 20: Opslag van de thermische energie door de gebouwmassa en het principe van nachtkoeling (Francois, 2014)

Uit onderzoek van (Van den Brom, 2013) blijkt dat een gebouw met een hoge thermische massa door middel van ventilatie oververhitting van de ruimte kan voorkomen. Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat het aantal overschrijdingsuren 150 uur is, Dit is 1,7% van de tijd. Daarnaast komt de binnentemperatuur niet boven de 27°C. Ventileren door ramen overdag wordt al veelvuldig toegepast. Tijdens de nacht minder door angst voor inbraak en regeninval, dit terwijl uit de resultaten van (Van den Brom, 2013) blijkt dat koelen tijdens de nacht efficiënt is. Uit de resultaten blijkt tevens dat voor voldoende ventilatie geen grote openingen nodig zijn. Twee openingen met een oppervlak van 0,1 m² kan al voldoende zijn om in de nacht te koelen. Geadviseerd wordt om na te gaan hoeveel ventilatie er nodig is om voldoende afkoeling te creëren. Bij een hoog debiet (hoge vraag naar ventilatie) is het verstandig om de openingen in twee tegenover elkaar liggende gevels te plaatsen of een opening in een gevel en een opening in het dak, middels een dakkap (Van den Brom, 2013).

Phase Change Materials (PCM's)

Phase change materials zijn materialen waarvan de faseverandering (van vast naar vloeibaar wordt gebruikt om warmte of koude op te nemen en af te staan. De tijdelijke opslag voorkomt extreme temperaturen in een gebouw en vermindert de koel- en verwarmingsbehoefte in een gebouw (RVO, 2021). Bij gebouwen met een lage thermische massa kan de thermische-opslagcapaciteit verhoogd worden door de toepassing PCM (Flamant, 2010). PCM kan worden geïntegreerd in een binnenafwerkingsmateriaal en kan de temperatuur in een ruimte tijdelijk stabiliseren door warmte op te nemen wanneer de temperatuur begint te stijgen. Wanneer de temperatuur daalt, dan kan PCM de opgenomen warmte opnieuw afgeven. Dit natuurlijke fenomeen kan vele malen herhaald worden en kan dus een oplossing bieden voor de oververhitting van gebouwen met een lage thermische inertie (bijv. houtskeletbouw) (De Barquin & Flamant, 2010). Uit onderzoek van (Basher, Hasan, & Shdhan, 2018) blijkt dat door het gebruik van PCM de binnentemperatuur daalt naar 2,18°C met 1 cm PCM voor alle muren, 1,9°C met 1^{cm} PCM op het plafond. 3,32°C met 2^{cm} PCM op de zuidgeoriënteerde muur, 2,2°C met 2^{cm} PCM voor de west georiënteerde muur, 1,5°C met 2^{cm} op de noord georiënteerde muur en 1,2°C met 2^{cm} PCM op de oost georiënteerde muur (Basher, Hasan, & Shdhan, 2018).

Groendaken

Een groen dak zijn daken die bedekt zijn met vegetatie en een aantal lagen substraat t.b.v. de ontwikkeling van het groen dak (WTCB, 2006). Er kan onderscheid worden gemaakt tussen twee type groendaken:

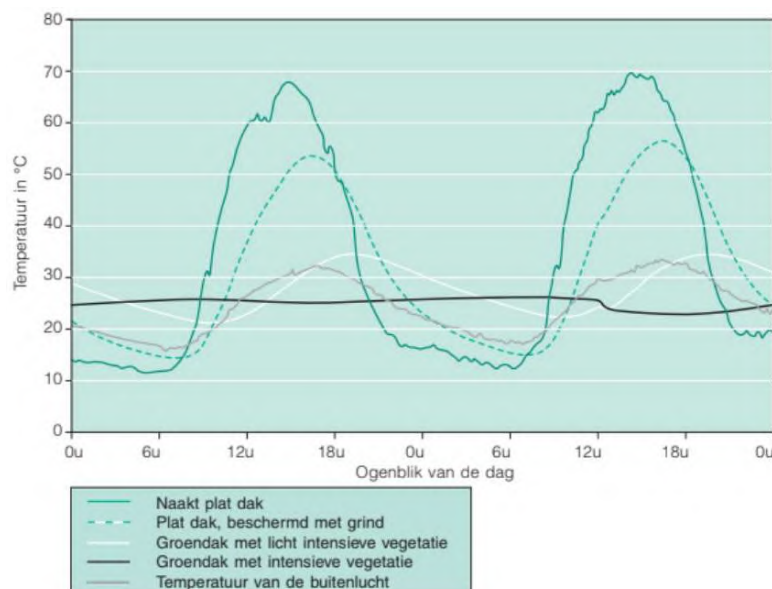
- Extensieve groen daken (bodemdikte minder dan 10 tot 15 cm)
- Intensieve groen daken (bodemdikte meer dan 15 tot 20 cm)

Een extensief groen dak is vanwege de lagere belasting geschikter voor bestaande bouw (Jaffal, Ouldboukhitine, & Belarbi, 2012).

Bij het realiseren van een groen dak kan de warmtestroom door het dak worden vermindert als gevolg van een verandering in de reflectie, toename van de isolatielaag, toename van de thermische massa en de belangrijkste factor, verdamping (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014).

Naast het verlengen van de levensduur van de dakbedekking, zorgen groene daken voor schaduw en isolatie. Dit resulteert in energiebesparing en vermindering van het stedelijk hitte eiland effect. Door de schaduwvorm van plantmateriaal kan de toename van zonne-energie tot 90% verminderen in vergelijking met niet-beschaduwde gebouwen. Groene daken zorgen daarnaast voor een lagere binnentemperatuur van 3 tot 4°C bij een buitentemperatuur tussen de 25°C en 30°C (Getter & Rowe, 2006). Ook (Niachou, 2001) heeft na onderzoek aangetoond dat binnentemperaturen aanzienlijk kunnen worden verlaagd bij toepassing van een begroeid dak. De mate van daling van de binnen luchttemperatuur hangt sterk samen met de thermische weerstand van het oppervlak. Dit werd ook geconcludeerd door (Theodosiou, 2003)

Uit onderzoek van (Jaffal, Ouldboukhitine, & Belarbi, 2012) blijkt dat de daling van de binnentemperatuur lager uitvalt bij het toepassen van een groen dak dan bij een goed geïsoleerd dak, te weten een dalende binnentemperatuur van 1 tot 1,5°C. Uit dit onderzoek is geconstateerd dat het effect van groene daken op de binnentemperatuur en dus de koelvraag, sterkt afhankelijk is van het isolatieniveau van het dak. Met name groene daken bij niet-geïsoleerde of matig geïsoleerde daken laten significante effecten zien. Hierdoor wordt het toepassen van groene daken meer interessant voor bestaande bouw dan bij nieuwbouw (Jaffal, Ouldboukhitine, & Belarbi, 2012).



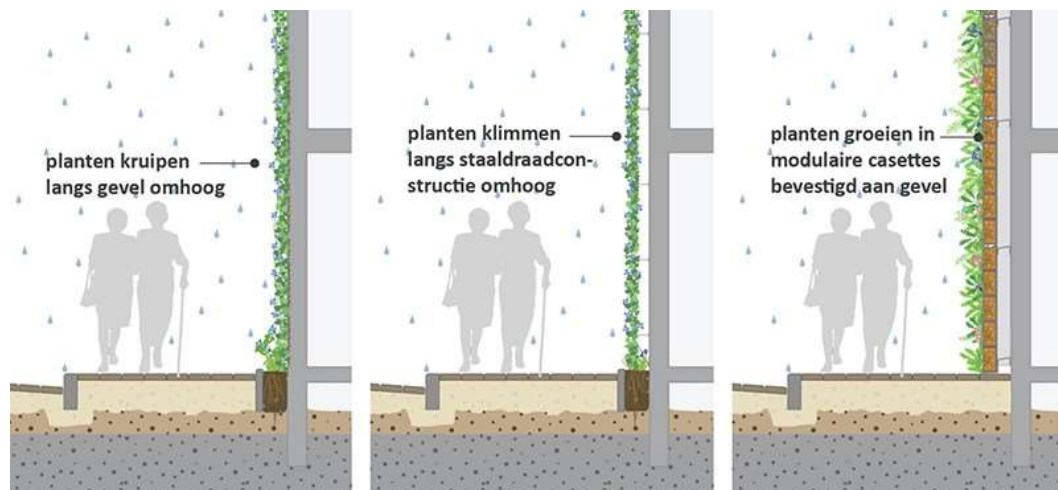
Figuur 21: Temperatuurverschillen voor diverse ballastlagen in de zomerperiode (WTCB, 2006)

De verkoelende factor is enkel aanwezig zolang het groendak gezond is. Tijdens een lange periode van droogte kan het voorkomen dat het groendak onder stress komt. Als gevolg hiervan droogt het substraat en de planten uit en is er geen vocht meer om te verdampen. Dit risico is het grootst bij extensieve daken met sedumbepanting (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020).

Groene gevel

Groene gevels zijn muren die gedeeltelijk of volledig bedekt zijn met vegetatie en hebben de eigenschap van een uitbundige groene uitstraling. Groene gevels worden ook wel verticaal groen of een verticale tuin genoemd, is een beschrijvende term die wordt gebruikt om te verwijzen naar alle vormen van begroeide muropervlakken (Yeh, 2010).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende groensystemen op basis van de manier waarop de planten groeien: groene gevels waarbij de planten in volle grond staan en rechtstreeks of via een klimhulp op de muur groeien. En er is een Living Wall Systems, een niet grondgebonden systeem aan de muur waarin de planten groeien (Mechant & Goossens, 2017).



Figuur 22: Doorsnedes van de drie verschillende groene gevelsystemen (Amsterdam Rainproof, 2021)

Een groene gevel heeft de reputatie dat het schade toebrengt aan de gevel: muren worden vocht, wortels dringen de muur binnen en het trekt ongedierte aan. Deze vooroordelen blijken niet altijd juist te zijn. Een groene gevel kan zelfs bijdragen aan een langere levensduur van de gevel (Peters, 2011). De beplanting van een groene gevel zorgt er voor dat uv-licht de constructieve delen van een gevel minder bereikt. (Krusche, Althaus, Gabriel, & Weig-Krusche, 1982). Het voordeel is tevens is dat de groene gevel de directe zonnestraling tegenhoudt die kan zorgen voor opwarming van het gebouw (Van Leeuwen, De Koning, & Winter, 2012). Verschillende onderzoeken (Pérez, Coma, Martorell, & Cabeza, 2014), (Susrova, 2015) hebben aangetoond dat groene gevels een positieve invloed hebben op de thermische prestaties van een gevel van een gebouw.

Een ander belangrijk effect is dat tussen een groene gevel en de muur van een gebouw een luchtlaag ontstaat die extra isoleert (Tsoumarakis, Assimakopoulos, Tsiros, Hoffman, & Chronopoulou, 2008). Hierdoor kunnen tussen de buitenzijde van de groene gevel en de binnenruimtes van het gebouw aanzienlijke temperatuurverschillen ontstaan. Zo heeft (Kikegawa & Genchi, 2006) het effect van groene gevels gemeten op leefniveau en de besparing op airconditioner koeling. De groene gevel leidt tot een daling van gemiddeld 0,2-1,2°C van de temperatuur op leefniveau. Daarnaast resulteert het in een energiebesparing voor koeling van 4-40% (Kikegawa & Genchi, 2006). Een vergelijkbaar onderzoek door (Wong & Kwang Tan, 2010) op een groene gevel in Singapore laat een maximum verschil zien van 3,3°C (muurniveau) gemeten ten opzichte van een controle muur (Wong & Kwang Tan, 2010).

Hoewel er bij het toepassen van een groene gevel veel voordelen zijn, worden er tijdens het gebruik ook enkele technische problemen ondervonden (Johnston & Newton, 1993).

1. Het nadeel van een direct bevestigde groene gevel is dat klimplanten de buitenste laag van de gevel aantasten, met name bij gipswanden (Ottel , Perini, 2017)
2. Onderhoud aan groene gevels (Yeh, 2010) (Ottel , Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011)
3. De kosten van groene gevels, met name living wall systems (Ottel , Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011)
4. Irrigatie systemen (Yeh, 2010) (Ottel , Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011)

Bijlage 8: Koeltechnieken t.b.v. een woning

Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen passieve en actieve koeltechnieken. Voor passieve koeling is er onderzoek gedaan naar natuurlijke nachtventilatie (free-cooling), passief koelen via ventilatie, warmte-en koude opslag (WKO). Actieve koeling in woningbouw kan worden toegepast middels ventilatoren en twee typen warmtepompen.

1. Passieve koeling met natuurlijke nachtventilatie (free-cooling)

In de meeste gevallen wordt ventilatie gezien als een noodzakelijke handeling om een gezonde luchtkwaliteit in een gebouw te garanderen (Givoni, 1992). De indirecte manier waarop ventilatie het comfort in een gebouw kan verbeteren is nachtventilatie. Nachtventilatie bestaat uit het ventileren van een gebouw tijdens de nacht om de thermische massa af te koelen. De thermische massa kan de volgende dag de warmtestromen absorberen en comfort bieden door zowel de binnenlucht als de wandtemperatuurstijgingen te verminderen (Blondeau, Sperandio, & Allard, 1997). Uit experimenteel onderzoek van (Blondeau, Sperandio, & Allard, 1997) is vastgesteld dat nacht ventilatie ervoor zorgt dat de binnen luchttemperatuur van een woning te verlagen is naar 1,5-2°C wat resulteerde in een aanzienlijke verbetering van het comfort van de bewoners .

Om natuurlijk te kunnen ventileren zijn er drukverschillen nodig. Drukverschillen kunnen ontstaan door wind of door temperatuurverschillen, maar ook door hoogteverschil – het zogenaamde schouweffect (Van Den Broecke, 2020). Een schouweffect is te realiseren door op de lageregelegen delen van de woning openingen te realiseren waardoor er frissere lucht naar binnen kan. Warme lucht stijgt. Door op het hoogste punt van de woning een opening te realiseren, kan de warme lucht naar buiten toe. In de praktijk is een schouweffect het eenvoudigst te realiseren door te kiezen voor voldoende draaikiepvijvers in combinatie met een (opengaande koepel) of dakraam (Multibat, 2021). Het schouweffect kan ook gecreëerd worden door een zomernachtventilatieluik. Dit zijn ventilatieopeningen in de gevel die je 's nachts open kunt zetten. Een goed nachtventilatieluik is kierdicht, houdt insecten tegen, slagregendicht en inbraakveilig. Om deze manier van koeling goed te benutten dient de bewoner de werking goed te begrijpen. Als voordeel wordt benoemd dat deze maatregel geen energie kost in tegenstelling tot actieve koeling. Daarnaast wordt als voordeel benoemd dat het de bewoners regie geeft over het binnenklimaat (Diersen, P., 2016). Uit onderzoek van Goossens blijkt dat een woning met een zomernachtventilatieluik maar 20 uur per jaar warmer wordt dan 25 graden. Goossens stelt dat zonder een ventilatieluik dit maar liefst 800 uur is (Tresoor, 2021). Een zomernachtventilatieluik kan enkelzijdig worden toegepast. Een 2-zijdig zomernachtventilatieluik heeft wel een groter effect dan enkelzijdig, zo stelt Nuiten van W/E Adviseurs (Bouwmeester, 2020).



Figuur 23: Zomernachtventilatieluien (Diersen, P., 2016)

2. Passief koelen via ventilatie

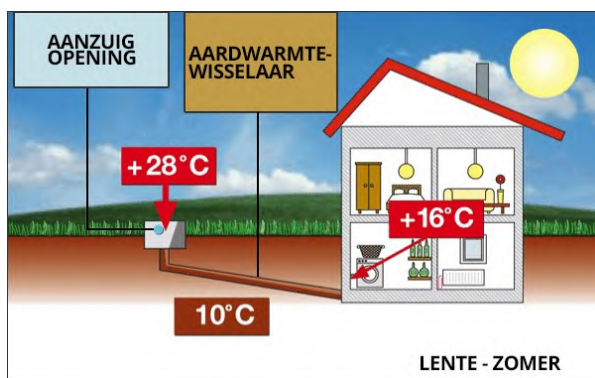
Mechanisch ventilatiesysteem

Mechanische ventilatie in een woning gebeurt hoofdzakelijk door twee ventilatiesystemen: systeem C en systeem D. Bij een ventilatiesysteem C wordt verse lucht naar binnen gezogen via roosters in ramen of muren. De gebruikte binnenlucht wordt mechanisch afgevoerd via ventielen in een keuken, badkamer of toilet (Ventilatiesysteemabcd, 2021). Op warme dagen is het wenselijk dat de warmte, die binnen is opgeslagen, afgevoerd wordt. Er kan dan worden gekozen voor een vraag gestuurd systeem die de luchttemperatuur meet en indien nodig de vraagsturing tijdelijk uitschakelt en overgaat op het maximale ventilatiedebiet (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020). Dit betreft een ventilatiesysteem C+.

Bij een ventilatiesysteem D gebeurt de aanvoer van verse buitenlucht en de afvoer van gebruikte lucht volledig mechanisch door 2 ventilatoren. Hier komen dus geen roosters in muren of ramen aan te pas (Ventilatiesysteemabcd, 2021). Wanneer een ventilatiesysteem D is voorzien van warmteterugwinning kan dit alleen een voordeel opleveren in de winter maar ook in de zomer wanneer het systeem is voorzien van een automatische zomerbypass. Wanneer de woning oververhit raakt tijdens warme zomerdagen dan gaat de toevoerlicht niet door de warmtewisselaar, maar wordt de frisse buitenlucht rechtstreeks de woning ingevoerd. Tijdens warme zomerdagen zal dit met name van toepassing zijn in de late avond en nacht. Mocht het buiten toch nog warmer zijn dan binnen dan wordt de warmtewisselaar opnieuw gesloten. De relatief koelere binnenlucht wordt dan gebruikt om verse lucht zoveel mogelijk af te koelen. (Provincie Oost-Vlaanderen, 2020; Vanderwegen, Oververhitting in je woning voorkomen #2 wat is de impact van technieken? , 2019) (Comfort-Home, 2021). Uit onderzoek van Carl-Peter Goossen blijkt dat wanneer het schouweffect middels een zomernachtventilatieluis (30 bij 140 cm) wordt gecombineerd met een ventilatiesysteem D met zomerbypass, het aantal uren per jaar dat de temperatuur in de woning boven de 25 graden is niet meer dan 8 uur zal zijn. Wanneer het zomernachtventilatieluis weg wordt gehaald, dan schiet het aantal uren naar 400. Met enkel de zomerbypass wordt het effect dus niet gehaald (Diersen, 2016).

Lucht-aardwarmtewisselaar (AWW)

Een aardwarmtewisselaar (ook wel Canadese put genoemd) is een systeem om via ondergrondse buizen buitenlucht in de woning te brengen. De aangezogen buitenlucht wordt via een ondergronds buizenet de woning binnengebracht. Tijdens het transport wordt de lucht langzaam afgekoeld (of in de winter opgewarmd) door de overdracht van de bodemtemperatuur. Door de AAW aan te sluiten op een ventilatiesysteem D kan de verse lucht voorcoelen. Echter kan het effect van koeling, vanwege het lage ventilatiedebiet, niet vergeleken worden met de koeling van een airco (Ventilatiesysteemabcd, 2021). Men dient er wel voor te zorgen dat de kwaliteit van de lucht niet verslechtert door de doortocht door de AAW. In de zomer kan er in bepaalde omstandigheden condensatie optreden. Om dit te voorkomen dient de AAW in een helling van minstens 2% te worden aangelegd. En dient met regelmaat de filters (3 à 6 maanden) vervangen te worden (Bouwen, 2016).

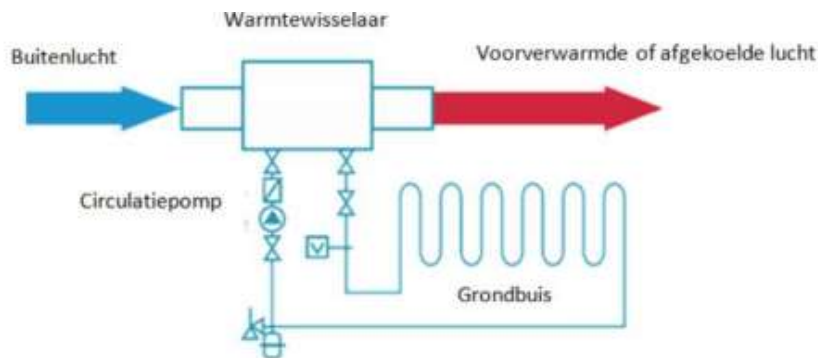


Figuur 24: Werking van een lucht-aardwarmtewisselaar (Bouwen, 2016)

Bodemwarmtewisselaar (bodemplus)

De bodemwarmtewisselaar (BWW) is een buis die de grond ingebracht wordt en waardoor in een gesloten circuit een water glycolmengsel stroomt. Dit koudere mengsel neemt de temperatuur uit de grond op (aardwarmte) en geeft de temperatuur af aan de ventilatielucht via een warmtewisselaar (Duurzaamthuis, 2021). Bij een koude vraag die kleiner is dan de warmtevraag, kan in de zomer koude aan de bodem onttrokken worden bij een temperatuurniveau van rond 10°C. Het koude kan gebruikt

worden om over een warmtewisselaar het koudwaterssysteem van het gebouw te voeden (Sluis & Rolloos, 1999). In tegenstelling tot een aardwarmtewisselaar stroomt de ventilatielucht bij een BWW niet door de grondbuis. Daarnaast dient een BWW ook niet afhellend te liggen, dit vergemakkelijkt de installatie. Daarnaast kan condensatie zich enkel voordoen in de warmtewisselaar zelf (Bouwen, 2016). Over het algemeen zijn huizen gebouwd na het jaar 2000 geschikt voor het toepassen van een bodemwarmtewisselaar. Verder is het belangrijk om rekening te houden met ruimte rondom de woning die benodigd is voor het uitvoeren van de grondwerkzaamheden (Greenhome, 2017).



Figuur 25: Werken van een gesloten bodemwarmtewisselaar (Bouwen, 2016)

Adiabatische koeling (dauwpuntkoeling)

Een alternatief voor compressiekoeling (airco) is verdampingskoeling met water als koudemiddel. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het principe dat water verdampt als langs het oppervlakte lucht wordt geblazen, zoals kleren aan de waslijn drogen. Van de verschillende vormen van verdampingskoeling met water is indirecte dauwpuntkoeling het meest voor de hand liggende systeem voor toepassingen in de gebouwde omgeving. Dauwpuntkoeling bestaat uit een tegenstroomwisselaar, die aan de buitenzijde een laag heeft die wordt bevochtigd. Proceslucht stroomt langs deze laag, die hierbij vocht afstaat door warmte te onttrekken aan ventilatielucht (die aan de binnenzijde van de warmtewisselaar stroomt). Op deze manier kan warme lucht van bijv. 28°C naar 19°C worden gekoeld (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2021). Over het algemeen geldt hoe warmer de lucht buiten is, hoe effectiever adiabatisch koelen wordt. Fons Pennartz adviseur bij KWA geeft aan dat *“bij temperaturen van rond de 30°C kan de lucht met 7 à 8°C of meer kan worden afgekoeld”*. Tegelijkertijd stelt hij ook dat hoe vochtiger de lucht is, hoe geringer het effect. Van Der Lee van DCS is het met Pennartz eens *“het vochtgehalte in de lucht bepaalt hoeveel je kunt koelen. Is er te veel vocht, dan kun je weinig koelen”*. Pennartz geeft tevens aan dat het belangrijk is om deze koelmethode al bij het ontwerp van het gebouw mee te nemen. Voor adiabatisch koelvermogen is namelijk meer lucht nodig en daarmee grotere luchtkanalen (Louws, 2019). Derhalve wordt vastgesteld dat adiabatisch koeling (vooralsnog) geen passende oplossing voor de bestaande woningbouw.

3. Passief koelen met warmte- en koudeopslag (WKO)

Bij een WKO wordt er warmte en koude opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) in de bodem. Deze aquifer bevindt zich doorgaans op 30 tot 150 meter diepte met minimaal één koude en één warme bron. Wanneer er vraag naar koude is, wordt uit de koude bron (6-8°C) grondwater gepompt. De koude uit dit grondwater wordt met een warmtewisselaar afgestaan aan de gebouwinstallatie. Dit kan een luchtbehandelingskast zijn, en/of een tweede koelsysteem of een warmtepomp in koelbedrijf. Een WKO-systeem wordt doorgaans niet zo groot ontworpen dat deze onder alle omstandigheden voldoende koude (en warmte) kan leveren (Agentschap NL, 2011).

Een voorwaarde voor het kunnen toepassen van een WKO is dat het afgiftesysteem in de woning geschikt is voor laagtemperatuurverwarming en hoog temperatuur koeling (College bouw zorginstellingen, 2007). Bij nieuwbouw kunnen de gebouwinstallaties van vooraf aan op dergelijke ontwerptemperaturen ontworpen worden. Bij bestaande bouw is het dan ook belangrijk om renovatie momenten aan te grijpen om de gebouwschil en de installaties op ‘nieuwbouw-niveau’ aan te brengen (RVO, 2020). Voor relatief grote maar niet al te compacte woonwijken (meer dan vijftig woningen) wordt een collectieve bron haalbaar bevonden. De woningen moeten daarnaast worden voorzien van een redelijke isolatie van de schil (EPC <0,6), een individuele elektrische warmtepomp en lage temperatuurverwarming. De ervaringen met deze manier van passief koelen zijn dat het koelen goed werkt maar het koelvermogen beperkt is (Ministerie van Economische Zaken, 2021). De koeling van een WKO is een topkoeling. Dit betekent dat een WKO in een koeltoestand water van maximaal 18

graden door de leidingen pompt. De vloer wordt hierdoor circa 20 tot 22°C. Dit betekent dat het koeleffect enkele graden lager is ten opzichte van de buitentemperatuur. Benadrukt wordt dat het echter geen airconditioning is (Energie op maat, 2010).

Actieve koeling

Actieve koeling in woningbouw kan worden toegepast middels ventilatoren en twee typen warmtepompen. Actieve koeling wordt in de woningbouw enkel nodig geacht wanneer de vrije temperatuur uitstijgt boven de comfortgrens van 26°C (Janssens, 2002).

1. Ventilator

De constant draaiende ventilator wordt al sinds de achttiende eeuw gebruikt om mensen koel te houden. Ook vandaag de dag wordt het koeleffect van ventilatoren aanzienlijk bevonden. Een ventilator biedt comfort door het koelen van mensen door de lokale luchtstroom te vergroten. Hierdoor is het minstens 10 keer energiezuiniger dan het koelen van de lucht in een bepaalde ruimte. Dit komt omdat het in beweging brengen van lucht veel minder energie kost dan het koelen ervan. (Decker, 2014). Een luchtsnelheid van ongeveer 1 m/s kan een stijging van de binnentemperatuur van 3°C compenseren, terwijl een luchtsnelheid van 3 m/s een koelend effect heeft van ongeveer 7°C (Aynsley, 2007). De mate van het afkoelend effect wordt bepaald door de luchtsnelheid, de luchtvochtigheid en het type ventilator. Het onderzoek van (Arens, et al., 2013) kwam tot de conclusie dat men zich comfortabel voelt bij een temperatuur van 30 graden en een luchtvochtigheid van 60% bij een luchtsnelheid van 1,2 m/ welke afkomstig is van een plafond ventilator. Plafond ventilatoren produceren wel de minste koeling bij een bepaalde luchtsnelheid, omdat ze een kleiner deel van het lichaam bereiken. Echter hebben plafond ventilatoren het voordeel dat zij geen vloer- of bureauruimte nodig hebben. Vloer ventilatoren welke gericht zijn op de rug of de borst zorgen voor de meeste verkoeling (Arens, et al., 2013).

Als nadeel van ventilatoren wordt benoemd dat ze enkel voor verkoeling zorgen bij luchttemperaturen die onder een gemiddelde huidtemperatuur ligt, dit betreft ongeveer 35°C. Ventilatoren kunnen mensen boven deze drempel niet koelen, omdat bewegende lucht de huidtemperatuur niet onder omgevingstemperatuur kan verlagen, hoe hoog de luchtsnelheid ook is. Ondanks deze beperking worden ventilatoren ook nuttig bevonden bij temperaturen boven 35°C, omdat ze kunnen worden gebruikt in combinatie met airconditioning. Een andere beperking van het verhogen van de luchtsnelheid door ventilatoren is de verstoring van losse zaken (bijv. een krant of post) in een woning (Decker, 2014) (Aynsley, 2007).

2. Lucht-waterwarmtepomp

Een lucht/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. In combinatie met een HR-ketel of elektrische bijstook kan de lucht/water warmtepomp worden toegepast in bestaande woningen voor ruimteverwarming en bereiding van warm tapwater (Harmsen, Planje, Bakker, & Wagener, 2009). Een lucht-waterwarmtepomp kan ook actief koelen. De werking van een warmtepomp wordt omgedraaid: in plaats van warmte uit de buitenlucht te halen om je woning te verwarmen, wordt voor het koelen warmte uit je woning gehaald en via de warmtepomp naar buiten gebracht. Omdat bij dit koelproces de compressor wordt gebruikt, verbruikt de warmtepomp meer elektriciteit dan bij passieve koeling en is hierdoor vergelijkbaar met een airco (Nibe, 2021).

Aan een aantal experts is de vraag gesteld of een luchtwarmtepomp in de zomer kan worden gebruikt om de woning te koelen. Harm Valk (Nieman Raadgevend Ingenieurs) geeft aan dat *"als de lucht-water warmtepomp wordt ingezet als koelmachine, dan gaat het om 'hoog temperatuur-koeling' via het systeem dat in de winter voor de verwarming zorgt (via vloerverwarming en/of speciale radiatoren). Het koelvermogen wordt daarbij begrensd omdat voorkomen moet worden dat condens ontstaat. De koelcapaciteit is daarmee beperkt."* Jan Willen van de Groep (Factory Zero) geeft daarbij aan dat *"er mee gekoeld kan worden, echter niet zoals met een airco. Er wordt water tot maximum 18°C gekoeld"*. Dit in verband met het voorkomen van condensvorming. Daarnaast geeft Van de Groep aan dat *"het activeren van de koelfunctie meer onderhoud en slijtage oplevert, de levensduur van de pomp neemt af met 30%"*. Dick van Ginkel (Van Wijnen) vult daar bij aan dat *"de bewoner serieus rekening moet houden met een flinke toename van het elektra-verbruik"* (Lente-akkoord, 2019).

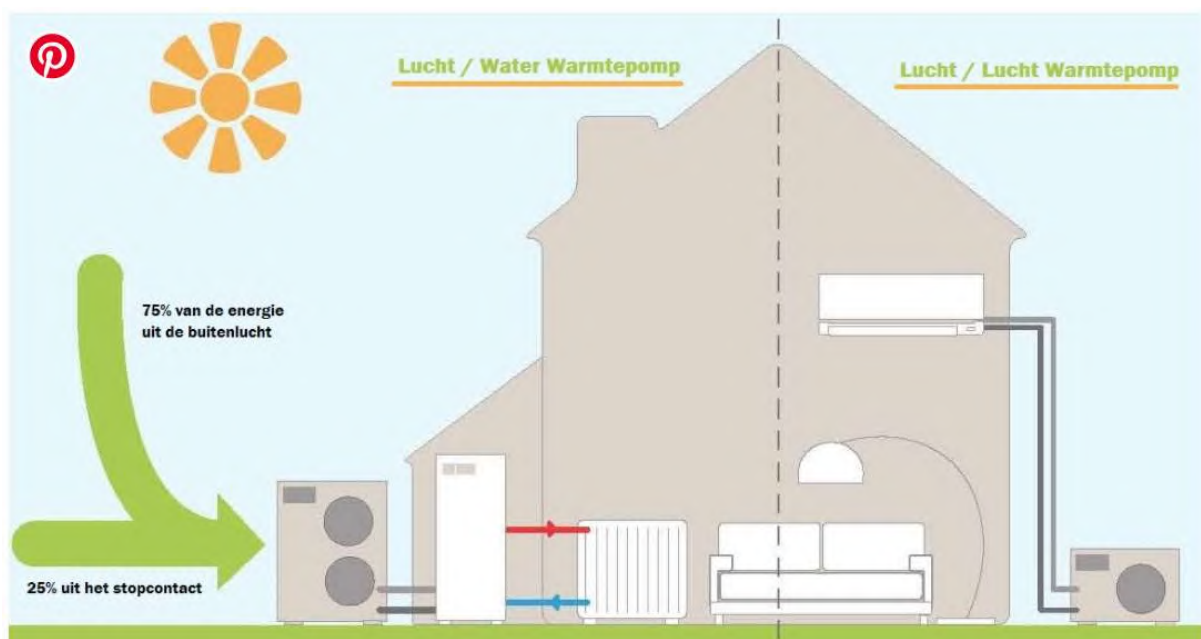
3. Lucht-luchtwarmtepomp (airco)

De lucht-lucht warmtepomp staat ook wel bekend als de traditionele airco en wordt ook wel een VRF-systeem genoemd (Lente-akkoord, 2019). De lucht die de woning in wordt geblazen via binnenunit(s), kan zowel verwarmd als gekoeld worden. Koelen met een lucht-lucht warmtepomp is een vorm van actieve koeling. De warme lucht die afgezogen wordt van buiten via een buitenunit, moet eerst worden afgekoeld. Hiervoor wordt een beroep gedaan op de compressor van de warmtepomp. De compressor wordt gezien als een groot energieverbruiker (Vlerken, 2020). Een lucht-lucht warmtepomp verlaagt de luchttemperatuur en luchtvochtigheid in een ruimte. Een lagere luchttemperatuur en luchtvochtigheid zorgt voor warmteverlies uit het lichaam (Parsons, 2014). Een lucht-lucht warmtepomp wordt gezien als de minst energiezuinige manier om mensen te koelen, omdat het impliceert dat alle lucht in een besloten ruimte gekoeld (en eventueel ontvochtigd) moet worden om de bewoners te koelen (Decker, 2014). Het koudemiddel in de pomp zorgt ervoor dat het de lucht kan koelen. Het koudemiddel zijn sterke broeikasgassen met een grote klimaatimpact, vaak wel 2.000 keer zoveel als CO₂. Het koudemiddel zit in de airco opgesloten echter lekt er gemiddeld een paar procent van weg tijdens de installatie of door beschadiging van de leiding of aansluiting (Milieucentraal, 2021).

Mobiele airco's worden op tropische dagen massaal aangeschaft (Hage, 2021). Een mobiele airco heeft echter geen buitenunit. De compressor van de airco staat dus in de ruimte die gekoeld dient te worden. De warmte van de compressor dient bij een mobiele airco via een slang naar buiten te worden afgevoerd. In de praktijk wordt de slang door een open raam of deur naar buiten geleid. Daardoor komt er soms net zoveel warme lucht naar binnen als de airco aan koude lucht genereert. Dit maakt het lastig om de airco elders in de woning te gebruiken, 'mobiel' is dus relatief (Olthuis, 2020). Tot slot maakt een mobiele airco veel geluid en verbruikt deze veel stroom in vergelijking met de voorgaande actieve koelmethoden (Olthuis, 2020).

Actief koelen met	Stroomverbruik (200 uur)	Stroomverbruik (per uur)	CO ₂ -uitstoot (per kWh)	CO ₂ -uitstoot (200 uur)
Ventilator	10 kWh	0,05	2	5
Lucht-Lucht warmtepomp (split-airco / 1 kamer)	150 kWh	0,75	2,15	70
Lucht-Lucht warmtepomp (Multi split-airco / 2 of meer kamers)	330 kWh	1,65	2,06	160
Mobiele airco	200 kWh	1	2	100

Figuur 26: Vergelijking stroomverbruik en CO₂-uitstoot actieve koeling (Hage, 2021)



Figuur 27: Verschil tussen lucht/water warmtepomp en lucht/lucht warmtepomp (Klimaatexpert, 2021)

Bijlage 9: Onderwerpen vragenlijst

De bevindingen en inzichten uit het theoretisch kader (hoofdstuk 2) zijn gebruikt voor onderwerpen en vraagstellingen voor het praktijkonderzoek. Opgesomd is de onderzoeker tot de volgende bevindingen en inzichten gekomen:

- Klimaatverandering leidt tot meer extremen in het weer, waaronder meer hittegolven;
- De gemiddelde temperatuur in de zomer kan in 2050 toenemen met +1 tot +2,3°C en in 2085 met +1,2 tot 3,7°C. Het aantal zomerse dagen (max temperatuur >25°C) in 2050 stijgt de temperatuur op de warmste zomerdag met +1,4 tot 3,3°C. Ook het aantal tropische nachten (min temperatuur >20°C) en de totale hoeveelheid zonnestraling licht kan toenemen (RVO, 2018);
- De gevolgen van warmtestress zijn gekoppeld aan de duur van de hitteperiode;
- De acceptatie van hogere temperaturen is groter naarmate de adaptiemogelijkheden groter zijn;
- Hitte heeft een belangrijke invloed op het comfortgevoel in een woning. Uit onderzoek blijkt dat de grenswaarde voor een comfort ervaring in een woning ligt op binnentemperatuur van 24 en 27°C (Vanwelde, 2017);
- Als men het binnenklimaat kan beïnvloeden dan wordt de bandbreedte waarbinnen mensen zich thermisch comfortabel voelen vergroot (Brager, Paliaga, & Dear, 2004);
- Stedelijke bebouwing heeft invloed op de temperatuur. Het verschil in temperatuur tussen stad en platteland kan oplopen tot 4-7 graden;
- Uit onderzoek van (Hooff, Blocken, Hensen, & Timmermans, 2014) blijkt dat oververhitting binnenshuis bij klimaatverandering vaker zal voorkomen en langer zal duren in een groter deel van het Nederlandse woningvastgoed;
- Vrijstaande woningen en rijwoningen minder vaak last hebben van oververhitting dan appartementen (Rovers, Bosch, & Albers, 2014);
- De oriëntatie van een woning is een belangrijke factor voor hittestress in de zomer. Wanneer er ramen op het oosten en westen zijn gesitueerd, zorgt dit voor een toename in oververhittingsuren;
- Grotere ramen op het Zuidwesten leiden tot hogere temperaturen in de woning (Ministerie van BZK, 2018) (Persson, Roos, & Wall, 2005). Hoe groter een raam, hoe meer zonlicht er gevangen wordt en hoe kleiner de kans op schaduw van de omgeving;
- Moderne woningen hebben ongeveer 3x zoveel overschrijdingsuren. Er is een verband tussen de mate van isolatie en hitteoverlast.
- Hoe hoger de thermische massa van een gebouw hoe langzamer de temperatuur in een gebouw zal stijgen en dalen. Het verschil tussen de minimale en de maximale temperatuur bij een hout gebouw zijn verder van elkaar verwijderd, dan de temperaturen van een beton gebouw;
- De verhuurder heeft de mogelijkheid heeft om de door hem gemaakte kosten (deels) door te berekenen aan de huurder door middel van een verhoging van de huurprijs;
- Groen en het creëren van schaduw de effectiefste maatregelen zijn om het klimaat rondom een woning te beïnvloeden.
- Het beperken van zonnewinsten door beglaasde geveldelen wordt beschouwd als één van de belangrijkste aspecten van het thermisch zomercomfort.
- Het verhogen van de albedo waarde/ het reflectievermogen van de woning wordt vanuit het onderzoek gezien als effectiefste hittemaatregel voor gesloten bouwdelen van een woning.
- Uit onderzoek is gebleken dat natuurlijke (nacht)ventilatie positieve invloed heeft op de temperatuur in een ruimte.

De bevindingen en inzichten uit het theoretisch onderzoek zijn middels interviews bij institutionele woningbeleggers en experts getoetst. Voor de resultaten zie hoofdstuk 3.

Bijlage 10: Vragenlijst praktijkonderzoek

Vragen

Intro	<p>Bij wat voor type organisatie bent u werkzaam?</p> <p>Wat voor soort functie bekleedt u bij uw organisatie?</p> <p>Hoe lang werkzaam? Altijd in deze rol?</p>
Klimaatadaptatie	<p>Is klimaatadaptatie een belangrijker onderwerp in uw vakgebied?</p> <p>Is het bewust zijn er alleen of zijn er bij u en uw werkgever al concrete plannen voor?</p> <p>Kijkend naar de aandachtsgebieden binnen klimaatadaptatie, hoe verhoudt de aandacht voor hittestress zich ten opzichte van andere klimaatrisico's?</p> <p>Mits het nog geen hot topic is: Wordt hittestress nog niet relevant geacht? Is er een ander klimaatrisico wat meer leidend is?</p>
Hittestress – Algemeen	<p>Vraag t.b.v. belegger: Wat is het geplande beleid ten opzichte van de toenemende hitte?</p> <p>Wat zijn naar uw idee factoren die zorgen voor hittestress in woningen?</p> <p>Wat kunnen naar uw inzicht oplossingen zijn voor deze factoren?</p>
Hittestress – Expertise	<p>Wij knippen een bestaande woning op in 4 delen, te weten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. het klimaat rondom de woning 2. beglaasde geveldelen van een woning 3. gesloten bouwdelen van een woning 4. Passieve/actieve ventilatie <p>Welke maatregel acht u het effectiefst t.b.v. het klimaat rondom een bestaande woning?</p> <p>Welke maatregel acht u het effectiefst voor beglaasde geveldelen?</p> <p>Welke maatregel acht u het effectiefst t.b.v. de gesloten bouwdelen?</p> <p>Welke maatregel acht u het effectiefst op het gebied van passieve/actieve ventilatie?</p> <p>Welke hittemaatregel acht u in zijn algemeenheid het effectiefst in bestaande bouw? Heeft u een specifieke voorkeur voor een maatregelen of een combinaties van maatregelen?</p>

<p>Hittestress – Ervaring</p>	<p>Vraag t.b.v. belegger: heeft u te maken gehad met een casus omtrent hittestress?</p> <p>Zo ja, om wat voor type woning ging het? En hoe was de ligging (binnenstedelijk/landelijk)?</p> <p>Zijn hier adaptieve hittemaatregelen voor genomen? Wat waren de factoren/motieven om tot maatregelen over te gaan? Zo ja, waren dit proeven? In hoeverre hebben deze effect?</p> <p>Zijn de maatregelen meegenomen in een grootschalige renovatie/verduurzaming van het gebouw?</p> <p>Hoe wordt de effectiviteit van de genomen hittemaatregelen beoordeeld? Op technisch vlak warmtemetingen? Maar ook op het vlak van de huurder: huurderstevredenheid? Dalende mutatiegraad?</p> <p>Zijn de investeringskosten (gedeeltelijk) doorberekend aan de huurders? Zo ja, op welke wijze?</p> <p>Hoe wordt er omgegaan met de jaarlijkse onderhoudskosten t.b.v. de hittemaatregel?</p>
<p>Afsluiting</p>	<p>Zou u nog wat meer kunnen toelichten met betrekking tot (...)?</p> <p>Wat bedoelde u met (...)?</p>

Bijlage 11: Gespreksverslagen praktijkonderzoek

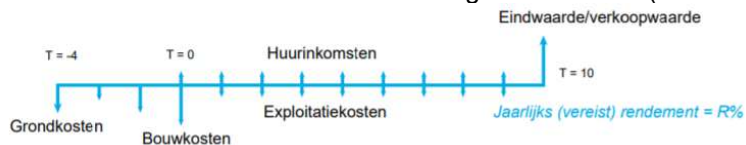
Op verzoek van de respondenten van dit onderzoek is de openbare versie van dit onderzoek geanonimiseerd. Derhalve is bijlage 11 niet opgenomen.

Bijlage 12: Accordering gespreksverslagen

Op verzoek van de respondenten van dit onderzoek is de openbare versie van dit onderzoek geanonimiseerd. Derhalve is bijlage 12 niet opgenomen.

Bijlage 13: DCF-methode

De DCF-methode is een methode waarbij alle toekomstige inkomsten en uitgaven contant worden gemaakt tegen een bepaald rendement en vervolgens bij elkaar worden opgeteld. De uitkomst is de netto contante waarde van de toekomstige kasstromen (Ten Have, Berkhout, & Arnhem, 2013).



Figuur 29: Schematische weergave van de DCF-methode (Aalbers & Veuger)

In de DCF-methode zijn er drie hoofdcashflows en een rendement te onderscheiden in de inputparameters van de DCF-methode, te weten (Ten Have, Berkhout, & Arnhem, 2013):

- Inkomsten;
- Uitgaven;
- Eindwaarde;
- Discontovoet, ook wel DCF-yield genoemd.

Bij de DCF-methode kan, ten opzichte van andere waarderingsmethoden, in de tijd uitgezette inkomende- en uitgaande kasstromen worden toegevoegd. In dit onderzoek is dit van belang omdat er rekening dient te worden gehouden met onderhouds- en vervangingskosten. Omdat middels de DCF-methode de toekomstige kasstromen contact worden gemaakt tegen een marktdisconteringsvoet, maakt het mogelijk om toekomstige kasstromen te verrekenen met de kosten van nu. Door alle kasstromen naar dezelfde tijd om te rekenen, kunnen de kosten over de beschouwingstermijn worden vergeleken met de huidige waarde. Het DCF-model kan dus worden aangepast tot een op maat gemaakt model.

Kostencomponenten in het DCF-model

De kosten in het DCF-model worden door de volgende componenten gevormd:

a. Exploitatieperiode

Om de hittestressmaatregelen te kunnen vergelijken wordt er voor elke maatregel een exploitatieperiode van 20 jaar gehanteerd.

b. Eenmalige investering

De investering voor een hittestress maatregel wordt op $t=0$ binnen de DCF-methode opgevoerd. De hoogte van de investering betreft de marktwaarde voor de realisatie van een hittestress maatregel (IPD, 2013).

c. Onderhoudskosten

In de praktijk wordt voor het berekenen van de geprognosticeerde exploitatiekosten, een percentage van de waarde van de geprognosticeerde huurinkomsten over de geprognosticeerde exploitatieperiode berekend (IPD, 2013). In dit onderzoek worden de werkelijke onderhoudskosten meegenomen. Wanneer deze niet beschikbaar zijn tijdens het onderzoek, wordt er gebruik gemaakt van kengetallen middels een percentage van de totale investering. De onderhoudskosten worden jaarlijks geïndexeerd met een percentage gelijk aan de inflatie.

Toegepaste formule in het DCF-model:

$$\text{Onderhoudskosten} = \text{Totale investering (complexniveau)} * x \%$$

d. Vervangingskosten

De vervangingskosten worden gelijkgesteld aan de investeringskosten op moment $t=0$ en geïndexeerd. Voor het moment van vervanging wordt de technische levensduur aangehouden. Voor de technische levensduur worden de afschrijvingstermijnen van het beleidsboek 'Huurverhoging na woningverbetering' aangehouden. Indien de maatregel niet wordt beschreven, dan wordt de technische levensduur aangehouden zoals in de literatuur wordt beschreven.

Toegepaste formule in het DCF-model:

$$\text{Vervangingskosten} = \text{Totale investering (complexniveau)} * \text{indexatie (\%)}^{\text{jaar van vervanging}}$$

e. Restwaarde

In dit onderzoek wordt de eindwaarde van de investering berekend aan de hand van een lineaire afschrijving op basis van de technische levensduur. Daarbij wordt aan het einde van de levensduur geen waarde meer toegekend.

f. Indexering kosten

De kosten die in de DCF-methode worden opgevoerd, worden gedurende de verwachte exploitatieperiode geïndexeerd met een percentage gelijk aan de CPI Nederland jaarinflatie waarbij een gemiddelde wordt berekend over de laatste vijf jaar (2016 t/m 2020).

Toegepaste formule in het DCF-model:

Indexering kosten = Onderhoudskosten * indexatie (%) ^jaren

2020	2019	2018	2017	2016	Gemiddeld
1,01%	2,72%	1,96%	1,25%	0,98%	1,6%

Figuur 30: Inflatie over 2016 t/m 2020 (Inflation, 2021)

Opbrengstcomponenten in het DCF-model

De opbrengsten in het DCF-model worden door de volgende componenten gevormd:

a. Het effect van woningverbetering op de huur

Zoals vastgesteld in het theoretisch onderzoek heeft de verhuurder, conform artikel 7:255 BW, de mogelijkheid om de door de verhuurder gemaakte kosten (deels) door te berekenen aan de huurders middels een verhoging van de huurprijs. Hieraan zijn wel een aantal voorwaarden gesteld, zoals omschreven in het theoretisch onderzoek. Deze mogelijkheid is in dit onderzoek gehanteerd als uitgangspunt omdat huurders van sociale huur alsmede de vrije sector een huurverhoging na woningverbetering kunnen toetsen bij de huurcommissie.

Conform het artikel, dient bij het berekenen van de maandelijkse verhoging rekening te worden gehouden met een redelijke afschrijvingstermijn.

b. Huurverhoging

De geprognosticeerde opbrengsten, welke gedurende de exploitatieperiode worden ontvangen, worden in dit onderzoek geïndexeerd met een percentage gelijk aan de inflatie, te weten 1,6%.

Toegepaste formule in het DCF-model

Huurverhoging = Huur * inflatie (%)

c. Saldo

De toegepaste kolom "Saldo" is de jaarlijkse som van de totale investeringskosten, onderhoudskosten en huursom.

d. Contante waarde

De IRR-eis is gesteld op 0% zodat enkel de kosten voortkomend uit de kosten voortkomend uit het vergroenen worden doorberekend aan de huurders. Desalniettemin is de contante waarde opgenomen in het model middels onderstaande formule.

Toegepaste formule in het DCF-model:

Contante waarde jaar 2 = Contante waarde jaar 1 / (1+ IRR-eis)^ jaar 2

Bijlage 14: Voorbeeld toegepast DCF-model

Kenmerken							
Type	Appartementen						
Bouwjaar	2018						
Aantal woningen	63						
Financieel							
Investing (gemiddeld)	€ 4.940,55	Per woning					
Investing totaal	€ 311.254	Per complex					
Technische levensduur	20	jaren					
Onderhoudskosten	1%	van investering per woning per jaar					
Onderhoudskosten totaal	€ 3.112,54	Per complex per jaar					
Kostenstijging (%)	1,6%	Per jaar					
Investing + onderhoud							
Huurverhoging woningniveau	€ 21,75	per maand / per woning					
Huurverhoging complexniveau	€ 16.440,93	per jaar / complex					
Huurstijging	1,6%	Per jaar					
Investing							
Huurverhoging woningniveau	€ 17,63	per maand / per woning					
Huurverhoging complexniveau	€ 13.328,38	per jaar / complex					
IRR-eis	0,00%						
Betalingwijze							
Betalingsfrequentie	Maand						
Vooruitbetaling of achteraf	Vooruit						
Cashflow (DCF-methode)							
Investing + onderhoud							
Jaar	Aantal woningen	Investing totaal	Onderhoudskosten	Huur	Saldo	Contante waarde	
0	63	€ -311.254			€ -311.254,35	-311.254	
1			€ -3.112,54	€ 16.440,93	€ 13.328,38	-311.254	
2			€ -3.162,34	€ 16.703,98	€ 13.541,64	-311.254	
3			€ -3.212,94	€ 16.971,25	€ 13.758,31	-311.254	
4			€ -3.264,35	€ 17.242,79	€ 13.978,44	-311.254	
5			€ -3.316,58	€ 17.518,67	€ 14.202,09	-311.254	
6			€ -3.369,64	€ 17.798,97	€ 14.429,33	-311.254	
7			€ -3.423,56	€ 18.083,75	€ 14.660,20	-311.254	
8			€ -3.478,33	€ 18.373,09	€ 14.894,76	-311.254	
9			€ -3.533,99	€ 18.667,06	€ 15.133,08	-311.254	
10			€ -3.590,53	€ 18.965,74	€ 15.375,20	-311.254	
11			€ -3.647,98	€ 19.269,19	€ 15.621,21	-311.254	
12			€ -3.706,35	€ 19.577,50	€ 15.871,15	-311.254	
13			€ -3.765,65	€ 19.890,74	€ 16.125,09	-311.254	
14			€ -3.825,90	€ 20.208,99	€ 16.383,09	-311.254	
15			€ -3.887,11	€ 20.532,33	€ 16.645,22	-311.254	
16			€ -3.949,31	€ 20.860,85	€ 16.911,54	-311.254	
17			€ -4.012,50	€ 21.194,62	€ 17.182,12	-311.254	
18			€ -4.076,70	€ 21.533,74	€ 17.457,04	-311.254	
19			€ -4.141,92	€ 21.878,28	€ 17.736,35	-311.254	
20			€ -4.208,20	€ 22.228,33	€ 18.020,13	-311.254	
21					€ 0		

Vindt u dit onderzoek interessant of heeft u vragen?

Laat het mij weten.

Y.P. (Yannick) van Coevorden

E-mail: y.coevorden@hotmail.com

