



Bureaustudie rondom de invloed van omgevings- en
gebouwkenmerken op hitte in de woning

Definitieve versie

Datum: 26 november 2021

Kennisprogramma 2021 NKWK KBS

Auteurs bureaustudie gebied en gebouw: Samuel de Vries (Hogeschool van Amsterdam),
Batoul Mesdaghi (TAUW)

Auteurs bureaustudie gebruiker: Werner Hagens (RIVM), Ton de Nijs (RIVM)

Redactie: Dr.ir. Jeroen Kluck (Hogeschool van Amsterdam)

Het Nationaal Kennis- en innovatieprogramma Water en Klimaat (NKWK)¹ is sinds 2015 actief. Het borduurt voort op de kennisvragen die benoemd zijn in het Deltaprogramma. Dit Deltaprogramma verschijnt ieder jaar en biedt de uitdagingen het hoofd waar de Nederlandse delta mee te maken heeft.



¹ [Over NKWK | NKWK Nationaal Kennis- en innovatieprogramma Water en Klimaat](#)

Inhoudsopgave

1	Bureaustudie gebied en gebouw	3
1.1	Doel en scope van de bureaustudie gebied en gebouw	3
1.2	Gebied	3
1.2.1	Groen	4
1.2.2	Straatinrichting	4
1.2.3	Water in de omgeving	5
1.2.4	Belangrijkste inzichten - gebied	5
1.3	Gebouw	6
1.3.1	Kwalitatieve literatuurstudie gebouwkenmerken en binnenluchttemperatuur	6
1.3.2	Kwantitatieve literatuurstudie gebouwkenmerken en thermisch comfort	8
1.4	Gebruiker	10
1.4.1	Modellen voor thermisch comfortbeleving	10
1.4.2	Adaptief gedrag, persoonlijke en sociaaleconomische eigenschappen	11
1.4.3	Gebruikersgedrag: interacties met het gebouw	12
	Appendix A: uitvoerige tabellen kwalitatieve literatuurstudie gebouw	14
	Appendix B: uitvoerige tabel kwantitatieve literatuurstudie gebouw	16
	Appendix C: Uitvoerige tabel literatuurstudie gebruikersgedrag	20
	Appendix D: Tabellen effecten van gebiedsmaatregelen	22

1 Bureaustudie gebied en gebouw

1.1 Doel en scope van de bureaustudie gebied en gebouw

Het doel van deze bureaustudie is om de beschikbare kennis over de invloed van gebieds- en gebouwkenmerken op hitte in de woning samen te brengen. Voorbeelden van gebiedskenmerken zijn bijvoorbeeld de mate van verharding, de straatinrichting (zijn de rijen woningen ononderbroken of niet...), en de aanwezigheid van water. Bij gebouwkenmerken kijkt men bijvoorbeeld naar de oriëntatie van de ramen, de ligging van de kamers, en de mate van isolatie.

Uit deze bureaustudie kunnen wij vervolgens maatregelen identificeren om hitte te voorkomen en de gevolgen daarvan te beperken. Tevens moet de bureaustudie een inschatting geven van de relatieve effectiviteit van maatregelen en geeft het uitgangspunten voor het simulatieonderzoek over hitte in de woning. Denk hierbij aan de door te rekenen periode (bijvoorbeeld de maatgevende zomer en/of hittegolf).

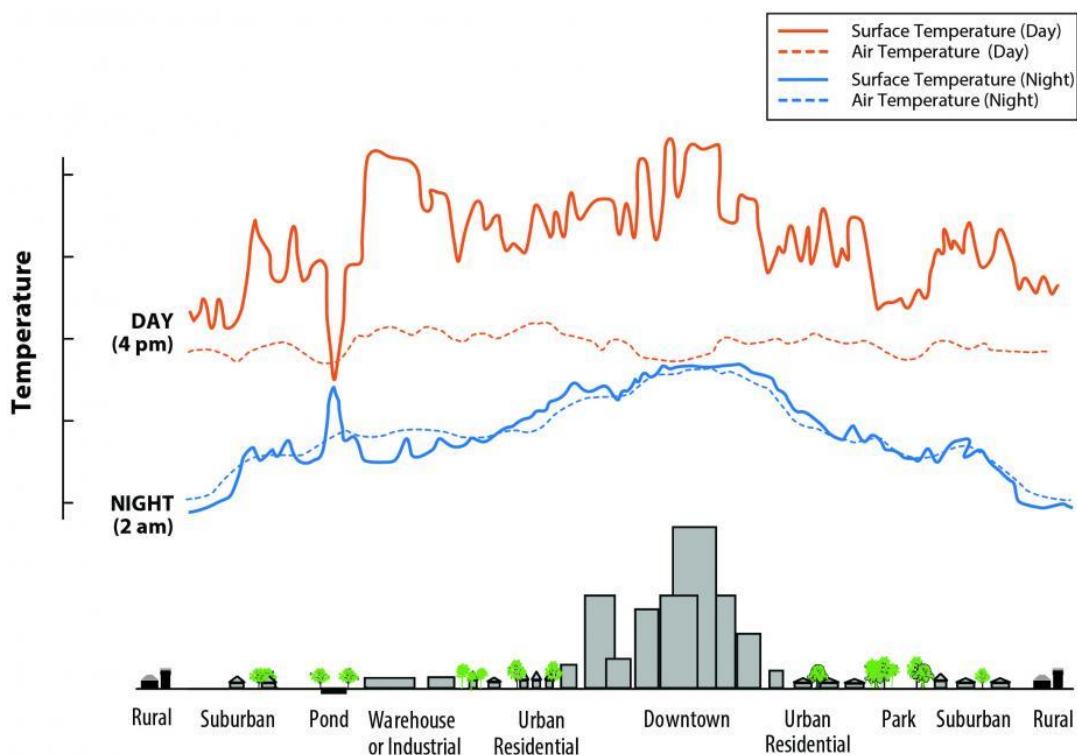
Naast de invloeden op gebied- en gebouwniveau, is het thermisch comfort van de gebruiker (bewoner) van de woning relevant, die mede wordt bepaald door de subjectieve beleving en het gedrag van de gebruiker. In deze bureaustudie ligt de focus dus op de invloeden vanuit het gebied en het gebouw op de daadwerkelijke stijging of daling van de binnentemperatuur. Het thermisch comfort op gebruikersniveau is hierbij een belangrijk aandachtspunt om in beschouwing te nemen, en wordt dieper op ingegaan in de "bureaustudie gebruiker", gemaakt door het RIVM.

In de studies over gebied, gebouw en gebruiker is zo veel kennis als mogelijk gebundeld over de invloed van verschillende kenmerken op de hitte binnen de woning. De kennis over de relatie tussen kenmerken op gebied-, gebouw- en gebruikersniveau is nog in ontwikkeling. Deze studies zullen in de loop van de tijd daarom ook aanvullingen of aanpassingen nodig hebben door nieuwe ontwikkelingen en inzichten uit de praktijk.

1.2 Gebied

Het klimaat verandert. Duidelijk is dat als de temperatuur 'slechts' 2°C stijgt, het aantal warme dagen zal toenemen en er meer hittegolven in Nederland zullen optreden (KNMI, 2015). Dit betekent dat burgers meer last gaan krijgen van (extreme) hitte. De stad is minder groen dan het buitengebied. Daardoor wordt er minder van de inkomende zonnestraling omgezet in verdamping en meer in de opwarming van gebouwen en straten (KNMI, 2021). Steden zijn zogenoemde hitte-eilanden door de belemmering van uitstraling door gebouwen. Hierdoor koelt de stad na zonsondergang minder snel af en zijn de temperatuurverschillen vooral 's nachts zo'n 3-4°C (Echevarria Icaza, 2017) hoger dan op het platteland. Stedelijke hitte-eilanden dragen bij aan hoe warm het is in de woning en hoe effectief het is om je raam 's nachts te openen en te ventileren.

Verschuillende onderzoeken hebben gekeken naar welke omgevingsfactoren het hitte-eilandeffect specifiek, en stedelijke hitte in het algemeen, kunnen verminderen. Hier gaat het om omgevingsfactoren zoals groen en parken, de straatinrichting en de aanwezigheid van water. De Hogeschool van Amsterdam heeft een uitgebreid literatuuronderzoek gedaan naar maatregelen die de luchttemperatuur beperken (Appendix D: Tabellen effecten van gebiedsmaatregelen).



Figuur 1: de oppervlakte en luchttemperatuur voor stedelijke en landelijke gebieden (bron: United States Environmental Protection Agency, 2021)

1.2.1 Groen

Het gunstigste effect werd gevonden bij vergroening in het algemeen. Met 10 procentpunt meer groen neemt de luchttemperatuur met grofweg 0,5 °C af (Van Hove et al. 2014). Dit wordt ook elders bevestigd in de literatuur. Le Grand et al. (2014) zagen dat meetlocaties met een bomenrij 0.6 °C koeler waren dan straten zonder (enige) groene beplanting. In dezelfde studie kwam ook naar voren dat een park binnen een straal van 100 meter van de woning, zorgde voor een koelere buitenluchttemperatuur van 0,3 °C. Bij hittemetingen door de Vries et al. (2020) werd ook een lagere temperatuur gevonden bij een meetlocatie aan de rand van de stad die in nabijheid van een park lag. Daarnaast bieden bomen schaduw en beperken ze daarmee directe zonnestraling bij de woning.

1.2.2 Straatinrichting

De straatinrichting blijkt ook relevant te zijn voor de luchttemperatuur in een wijk. Bijvoorbeeld, straten met ononderbroken huizenrijen aan weerskanten bleken 0.3 °C meer op te warmen dan straten met ten minste aan een kant een onderbroken huizenrij (le Grand et al. 2014). Ook bestrating en verharding beïnvloeden het klimaat van de bebouwde omgeving. De hoge temperaturen van bestratingsmaterialen verhogen de luchttemperatuur en hoe warmer het bestratingsoppervlak, hoe meer warmte kan worden afgegeven aan de lucht. De albedo ("wittigheid" van her oppervlak) wordt beschouwd als de belangrijkste factor die de oppervlaktetemperatuur kan beïnvloeden (Li et al., 2013). Hoe hoger het albedo, hoe koeler het oppervlak.

Onderzoek tot nu toe laat zien dat een stijging van 0,1 in albedo kan zorgen voor een daling in de oppervlaktetemperatuur van ongeveer 4 °C (Qin, 2015). Daardoor kan het vervangen van asfalt door beton leiden tot 12 °C in koelere oppervlaktetemperaturen (het albedo verhogen van 0.1 – asfalt – naar 0.4 – beton). Het effect van reflecterende bestrating is echter pas significant als het om grote stukken gaat, en bovendien is het effect tweeslachtig omdat de reflectie van de warmte zorgt voor opwarming van andere locaties in de omgeving en verhoging van de gevoelstemperatuur van mensen die in zo een straat lopen. Reflecterende verharding is dus het meest gunstig 's avonds en 's nachts wanneer de lagere oppervlaktetemperaturen zorgen voor minder opwarming van lucht.

1.2.3 Water in de omgeving

Het effect van open water is afhankelijk van de temperatuur van het wateroppervlak en of die lager is dan die van de lucht erboven. Hoe groter dit verschil is, hoe groter het verkoelende of verwarmende effect van het water in principe kan zijn. Soms zijn vijvers, grachten, meren en rivieren overdag koeler dan de lucht en 's nachts warmer, met name in het tweede deel van de zomer en in de vroege herfst. Doordat de temperatuur van het water 's avonds en 's nachts relatief hoog blijft, kan stedelijk water op die momenten in principe voor een opwarmend effect zorgen (Steenefeld et al., 2014). Een koeler wateroppervlak is echter niet het enige dat nodig is om de stedelijke omgeving af te koelen. De koelere lucht nabij het wateroppervlak moet ook de omgeving kunnen bereiken. Een merkbaar verkoelend effect voor mensen in de buurt van water vereist daarom dat de lengte van het wateroppervlak waarover de wind blaast (de aanstrijklengte) voldoende groot is (≈ 200 m of meer) (Foken & Napo, 2008). In het algemeen is het effect van open water op de luchttemperatuur relatief klein. Een literatuurstudie van Jacobs et al. (2020) gebaseerd op 20 studies uitgevoerd tussen 2013 en 2019 laat zien dat stedelijk oppervlaktewater een mediaan effect heeft van maar 0,5 °C op de luchttemperatuur. Bij 14 van de 20 studies was het effect kleiner dan 1°C.

1.2.4 Belangrijkste inzichten - gebied

Van alle onderzochte invloeden op de luchttemperatuur, bleken groen en de aanwezigheid van een park in de buitenomgeving een daadwerkelijk effect te hebben op de binnentemperatuur (van Daalen et al. 2010; le Grand et al. 2014; Kluck et al. 2017; Teun et al. 2019; de Vries et al. 2020). Het daadwerkelijke effect van de verschillende omgevingsfactoren op de binnentemperatuur van woningen is ook onderzocht. Le Grand et al. (2014) vonden dat wanneer de temperatuur buiten steeg met 1°C, de binnentemperatuur in de woonkamer met 0.9°C (SD = 0.23) steeg en de binnentemperatuur van de slaapkamer met 1.1°C steeg (SD = 0.3). Gezien de lage correlaties, zijn gebouweigenschappen en gedrag van grotere impact op de binnentemperatuur dan de buitentemperatuur alleen, en kunnen deze niet onafhankelijk van elkaar worden beschouwd.

1.3 Gebouw

Voor dit onderdeel zijn zowel empirische als simulatiestudies geraadpleegd. Hierbij is eerst op kwalitatieve wijze gekeken naar de conclusies die in de literatuur getrokken worden betreft de effectiviteit van individuele maatregelen. Om ook een beeld te kunnen geven van de verwachte relatieve effectiviteit van de verschillende maatregelen is ook een kwantitatieve literatuurstudie uitgevoerd waarbij gebruik gemaakt is van de literatuur op het gebied van simulatiestudies.

1.3.1 Kwalitatieve literatuurstudie gebouwkenmerken en binnenluchttemperatuur

In de kwalitatieve literatuurstudie is gebruik gemaakt van studies gebaseerd op metingen van de binnenluchttemperatuur in woningen tijdens een hittegolf (de Vries et al. 2020; le Grand et al. 2014; van Daalen et al. 2010), interviews met deskundigen (Teun et al. 2019; Cornelisse et al. 2019), en modelstudies (Taleghani et al. 2015; Nuiten et al. 2018). Omdat de methoden en meetperioden van deze studies niet overeenkomen, kunnen de kwantitatieve resultaten niet kruislings vergeleken worden. Daarom is ervoor gekozen om de conclusies uit deze literatuur op kwalitatieve wijze te vergelijken.

Tabel 1 toont een samenvatting van deze vergelijking. Per gebouwkenmerk en literatuurbron wordt aangegeven of de bestudeerde literatuur een groot, matig, klein of geen effect van het gebouw aspect op de binnenluchttemperatuur geconcludeerd wordt. In Appendix A: uitvoerige tabellen kwalitatieve literatuurstudie gebouw is een uitgebreide versie van deze tabel te vinden waarin ook de afzonderlijke methoden en bevindingen uitvoeriger besproken worden.

De meest gebouwkenmerken die het meeste bepalend blijken voor de binnenluchttemperatuur zijn: de ligging en verdieping van kamers, de grootte van ramen, het soort beglazing (helder of zonwerend) en de aanwezigheid van een overstek. Uit de empirische studies (de Vries et al. 2020; le Grand et al. 2014) bleek dat ruimten die zich direct onder een dak bevonden een groter risico op ongewenste opwarming bestaat dan bij lager gelegen ruimten. Zo bleken de ruimten onder het dak gemiddeld 1.8°C warmer dan ruimten boven de begane grond en 0.6°C graden warmer dan ruimten op tussengelegen verdiepingen.

Het effect van gebouwkenmerken die de mate van zontoetreding bepalen (zoals de grootte van ramen, het type glas en de aanwezigheid van een overstek) blijkt vooral uit de studies die gebaseerd zijn op onderzoek middels simulatie modellen (Nuiten et al. 2018) en interviews met experts (Teun et al. 2019). Opvallend is dat de sterke relatie tussen de grootte van ramen en de binnenluchttemperatuur niet bevestigd wordt door de empirische studies (de Vries et al. 2020; le Grand et al. 2014). Dit verschil kan mogelijk verklaard worden door verschillen in wijze waarop de grootte ramen gekwantificeerd is. Ook het gegeven dat de Vries et al. (2020) uitsluitend metingen verricht hebben tijdens een relatief korte hittegolf zou hierin een rol kunnen spelen doordat tijdens een hittegolf de buitenlucht temperatuur mogelijk van groter belang is dan de mate van zontoetreding.

Tabel 1: Kwalitatieve vergelijking van de in de literatuur gerapporteerde relatie tussen gebouwkenmerken en oververhitting in de woning. De tabellen in geven een uitvoerigere opsomming van de conclusies uit de afzonderlijke studies

	HVA: de Vries et al. (2020)	GGD Gelderland: le Grand et al. (2014)	W/E Adviseurs: Nuiten et al. (2018)	GGD Brabant/ Zeeland: van Daalen et al. (2010)	HKV Consultants: Teun et al. (2019)	TU Delft: Taleghani et al. (2015)	HVA: Kluck et al. (2017)
Bouwjaar (isolatie)		+			++		
Woningtype	-	+					
Ligging en verdieping kamers	+++	+++					
Bouwmassa		-	++				
Grootte en oriëntatie van de ramen	-	+	++		+++		
Type glas					+++		
Overstek			+++		+++		
Verspringing voorgevel			+				
Blauwgroen/ groen dak					+	+	+
Groene gevel					+		
Reflecterende elementen					+		
Zonnepanelen							
Legenda							
+++	Sterk effect	++	Heeft effect	+	Klein effect	-	Geen verband

1.3.2 Kwantitatieve literatuurstudie gebouwkenmerken en thermisch comfort

In eerdere simulatiestudies is onderzoek gedaan naar de effecten van gebouwkenmerken op het thermisch comfort in woningen. De resultaten uit deze studies zijn hier samengevoegd om een eerste beeld te geven van de verwachte relatieve effectiviteit van de verschillende gebouwmaatregelen. In ieder van de onderzochte studies wordt een referentiescenario aangenomen en kunnen de effecten van een bepaalde gebouwmaatregel uitgedrukt worden als een relatieve verbetering of verslechtering ten opzichte van dit referentiescenario. Deze relatieve verbetering biedt enige mogelijkheid om de studies met elkaar te vergelijken. Alhoewel deze studies verschillen in de gemaakte aannames (e.g.: klimaatdata, gebruikersgedrag) en de onderzochte maatregelen en woningtypen, biedt deze vergelijking wel een indruk van de orde grootte van het effect van de verschillende gebouwmaatregelen. De rangschikking van gebouwmaatregelen die hieruit volgt is in het onderzoeksproces gebruikt om keuzes te maken betreft welke maatregelen verder onderzocht zullen worden in de simulatiestudie.

In Tabel 2 zijn de maatregelen en gebouwkenmerken gerangschikt naar de grootte van het effect op de mate van thermisch comfort in de woning. In de meeste van de geraadpleegde studies wordt het effect van een maatregel uitgedrukt in termen van het aantal Gewogen TemperatuurOverschrijdingsuren (GTO-uren), gebruikmakende van het model van Fanger (1973). In een aantal studies wordt echter een afwijkende temperatuuroverschrijdingsmethode volgens het Peeters et al. (2009) model gehanteerd. Deze methoden zullen verder toegelicht worden in de literatuurstudie naar thermische comfortbeleving door gebruikers. Voor ieder gebouwtype en gebouwkenmerk (de cellen van Tabel 2) zijn meerdere studies geraadpleegd waarbij gekeken is naar het voorspelde effect van een maatregel in relatie tot het referentiescenario van de studie (zie Appendix B voor een reeks uitgebreide tabellen met bronvermelding). Voor iedere cel is vervolgens het gemiddelde van het minimum en maximaal aantal gerapporteerde overschrijdingsuren genomen. Tabel 2 toont alleen deze gemiddelde waarden. Dit gemiddelde wordt in deze tabel zowel per gebouwtype als voor alle bouwtypen tezamen getoond.

Tabel 2 laat zien dat uit de literatuur blijkt dat het thermisch comfort in de woning het sterkst beïnvloed wordt door gebouwkenmerken die de toetreding van zonnestraling richting de woning verminderen. Vooral het type glas, de aanwezigheid van dynamische zonwering of een overstek en die oriëntatie van het raam blijken een groot effect te hebben. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de meeste simulatiestudies uitgaan van een referentiescenario waarin er geen vorm van binnen zonwering of een klein overstek aanwezig is. Mogelijk dit niet representatief voor de werkelijke situatie in veel woningen.

Ook de mate van natuurlijke ventilatie blijkt een groot effect te hebben op het thermische comfort in de woning. In de geraadpleegde studies bleken o.a. spuiventilatie en zomernachtventilatie het comfort substantieel te verbeteren. Aspecten die verder van invloed zijn op het thermisch comfort, zij het in mindere mate, zijn: de mate van isolatie, de grootte van het raam en verdieping waarop de ruimte zich bevindt. Opvallend is dat er ogenschijnlijk een verschil te zien is tussen de geraadpleegde simulatiestudies en de empirische studies (de Vries et al. 2020; le Grand et al. 2014) in het effect van de verdieping waarop de ruimte zich bevindt.

Tabel 2: gemiddelde van alle verminderingen in gewogen temperatuur overschrijdingen (in de meeste gevallen GTO-uren) die worden gerapporteerd in de literatuur voor verschillende maatregelen/gebouwkenmerken per type woning. De volledige tabel met alle literatuurverwijzingen en gerapporteerde temperatuur overschrijdingen kan gevonden worden in *Appendix B: uitvoering tabel kwantitatieve literatuurstudie gebouw*.

Kenmerk	Rijwoning tussen	Vrijstaande of hoekwoning	Appartement tussen	Appartement dak	Alle Typen	Notitie
Type glas (helder of zonwerend)	1450	1650	2900	2400	1950	[a]
Dynamische zonwering	750	1425	3000	2700	1625	[a]
Overstek	1000	1050	2100	1750	1350	[a]
Oriëntatie van de ruimte/ woning	1150	1150	1150	1150	1150	
Natuurlijke Ventilatie: Spuien, zomernacht ventilatie	1150	525	900	775	1150	
Mate van isolatie	502.5	450	50	625	502.5	
Raamgrootte	950	90	200	205	490	
Hoogte (bouwlaag) van de woning	0	0	750	750	350	[b]
Type mechanische ventilatie systeem	15	85	450	475	305	
Interne warmtelast (apparatuur, etc.)	50	50	350	350	275	
Verhogen mechanische ventilatie debiet	260	260	260	260	260	
Thermische massa	145	120	350	285	210	
Hoog reflecterende gevel en/of dak	100	100	0	265	90	
Zonnepanelen	100	100	0	265	90	
Verhogen luchtsnelheid (ventilatoren)	?	?	?	?	?	[d]
Mechanische ventilatie met koude terugwinning	50	50	50	50	50	
Blauwgroen dak	60	60	0	60	45	
Verticale beschaduwing	0	0	0	0	0	[e]
Groene gevel	0	0	0	0	0	[f]

[a] In het referentie scenario wordt veelal aangenomen dat er geen (binnen) zonwering of overstek aanwezig is alsook weinig ventilatie. Dit heeft een zeer hoog aantal GTO-uren als gevolg. Mogelijk is die situatie niet representatief voor de situatie in veel woningen.

[b] Het gaat hier om effect van de hoogte van de bouwlaag binnen een hoogbouw flat. Er wordt hier de aanname gemaakt dat gebruikers op grootte hoogte altijd ramen kunnen openen.

[c] Onvoldoende kwantitatieve gegevens. Volgens de literatuur is dit mogelijk wel een effectieve maatregel.

[d] Onvoldoende kwantitatieve gegevens. Volgens de literatuur (Terpstra et al., 2019) is het effect klein.

[e] Onvoldoende kwantitatieve gegevens.

[f] Onvoldoende kwantitatieve gegevens. Volgens de literatuur (Cornelisse & Valk, 2019) en bouwfysische kennis is het effect klein bij geïsoleerde gevels.

Uit de simulatiestudies blijken hoger gelegen appartementen binnen een hoogbouwflat gepaard te gaan met minder opwarming door een groter luchtdruk verschil op de gevel die een grotere mate van natuurlijke ventilatie veroorzaakt door open ramen (Hoevers 2021). In de empirische studies bleken hoger gelegen ruimten echter juist meer op te warmen door absorptie van zonnestraling door het dak en stijging van warme lucht binnen woning met meerdere verdiepingen (de Vries et al. 2020; le Grand et al. 2014). Hieruit kan vooral geconcludeerd worden dat het effect van de bouwlaag waarop de ruimte zich bevindt samenhangt met andere gebouwkenmerken.

Uit de literatuur blijkt dat de overige onderzochte gebouwkenmerken een klein (e.g.: het type ventilatiesysteem, interne warmtelast, etc.) tot verwaarloosbaar effect te hebben (o.a.: mechanische ventilatie met koude terugwinning). Deze kenmerken zullen daarom niet verder onderzocht worden in de simulatiestudie. Maatregelen zoals het toepassen van hoog reflecterende verf en groen op gevels en dakeneffectief blijken vooral effectief bij slecht geïsoleerde gebouwen in warmte landen zoals Italië (Guattari et al. 2020; Butt et al. 2021; Tudiwer et al. 2017; Olivieri et al. 2017). Deze maatregelen hebben echter maar een klein effect te hebben bij woningen waar reeds enige isolatie is toegepast en in het gematigdere Nederlandse klimaat (van Hooff et al. 2014; Butt et al. 2021; Ottel  et al. 2017; Olivieri et al. 2017).

Dit komt overeen met wat met vanuit een bouwfysisch oogpunt zou verwachten aangezien isolatie de binnentemperatuur thermisch ontkoppeld van de buitenluchttemperatuur.

Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat deze maatregelen mogelijk wel effectief kunnen zijn in zeer specifieke gevallen waar warmtetoetreding door de wand een probleem vormt, zoals bij ruimten achter niet geïsoleerde daken of enkelsteenswanden. Ook helpen deze maatregelen wel degelijk de buitenluchttemperatuur (gebied) te verlagen en kunnen ze daarin indirect een verkoelend effect hebben woningen. Dit effect wordt in de onderzochte literatuur niet meegenomen.

1.4 Gebruiker

De mate thermisch comfort van een gebouwgebruiker wordt naast de fysische toestand van het binnenmilieu, ook bepaald door de subjectieve beleving van de gebruiker. Ook beïnvloedt de gebruiker de comfort beleving middels het aanpassend gedrag (zoals het aanpassen van de kleding) en door interacties met het gebouw en de omgeving (zoals het openen van ramen en de bediening van zonwering). In dit onderdeel worden deze gebruikersgerelateerde aspecten kort benoemd. In de "bureaustudie gebruiker" is meer informatie te vinden.

1.4.1 Modellen voor thermisch comfortbeleving

Het doel van thermisch comfort modellen is om inzicht krijgen in de fysische grootheden (zoals de binnenluchttemperatuur) en de culturele en persoonlijke aspecten die de comfortbeleving beïnvloeden en het selecteren van een passend model voor de simulatiestudie.

Tabel 3 geeft een overzicht van de thermisch comfort modellen die het meest gangbaar zijn in de Nederlandse context. Ook geeft de tabel inzicht in de verklarende variabelen die het model gebruikt, de methodologische opzet en de daaraan gekoppelde veronderstelling ten aanzien van adaptief gedrag door gebruikers. Globaal is de literatuur op dit vlak te verdelen in studies die uitgevoerd zijn onder experimentele omstandigheden in laboratoria en studies die empirisch verricht zijn in echte gebouwen en onder echte gebruiksomstandigheden. Het gevolg van dit verschil in methodologische opzet is dat in de toepassing van de eerste groep modellen gebruikersgedrag expliciet omschreven moet worden, waar in de laatste groep modellen hetzelfde aanpassende gedrag wordt verondersteld als in de data waar het model op gebaseerd is. Tevens verschillen de modellen in de parameters waar zij gevoelig voor zijn (zo is alleen het Fanger-model geschikt voor het direct beoordelen van het effect van ventilatoren) en de mate waarin zij zijn opgenomen in nationale normen en rekensoftware.

In de simulatiestudie is ervoor gekozen om het model van Fanger en de gewogen temperatuur overschrijdingsuren benadering te gebruiken omdat dit aansluit bij wat de aanpak die het meest gevolgd wordt in de beroepspraktijk (GTO en TO_{Julij}). Ook komt uit de literatuurstudie naar voren dat het effect van ventilatoren op de thermisch comfort beleving nog niet voldoende onderzocht is.

Het thermofysiologisch predicted mean vote (PMV) model van Fanger is gebaseerd op klimaatkameronderzoek met een grote groep testsubjecten onder variërende omstandigheden. Het model maakt gebruik van een warmtebalans voor het menselijke lichaam om op basis van omgevingsparameters,

het metabolisme en de kleding isolatie van gebruikers de gemiddelde verwachte temperatuur sensatie (PMV) onder een grote groep gebruikers te voorspellen. Tevens kan middels een empirische relatie vanuit deze PMV het aantal verwachte ontevreden gebruikers (PPD: percentage of people dissatisfied) voorspeld worden. In de Nederlandse praktijk wordt verder veelal gebruik gemaakt van Gewogen Temperatuur Overschrijdingsuren (GTO-uren) om de comfort beleving gedurende een periode in een enkel getal te vatten. Hierbij worden PMV-waarden met een formule gewogen zodat in de uiteindelijke score 10% ontevreden gedurende een uur gelijk staat aan 20% ontevredenen gedurende een half uur. Momenteel wordt voor woningen een maximum eis van 450 GTO-uren per jaar gehanteerd als indicatie van een acceptabel niveau van thermisch comfort. Een moeilijk aspect in de toepassing van het Fanger-model is dat adaptief gedrag (e.g.: het aanpassen van kleding en het metabolisme) door gebruikers expliciet omschreven moet worden maar dat aannames voor deze parameters moeilijk zijn in te schatten. In de simulatiestudie zullen deze aannames gebaseerd worden op de ISSO-GIW publicatie (Dijkhuizen et al. 2007). Toekomstig onderzoek moet aanwijzen in welke mate deze aannames representatief zijn adaptief gedrag door gebruikers tijdens een hittegolf. Tevens raden wij aan om de toepasbaarheid van het eenvoudiger Peeters model, waarin adaptief gebruikers gedrag impliciet in het model wordt verondersteld, te toetsen voor de Nederlandse context en specifiek de comfort beleving tijdens hittegolven.

Tabel 3: Thermisch comfort modellen voor de Nederlandse context

Benadering	Model	Fysische verklarende parameters	Adaptief gedrag van gebruikers	Opgenomen in nationale normen en rekenmethodieken
Experimenteel in een laboratorium	Model van Fanger (1973)	$T_{op;binnen}$, v , RV , I_{clo} , M	Moet expliciet beschreven worden	Ja (PMV, PPD, GTO)
	TO-Juli (NEN 2018)	T_{binnen}	Eén bepaald gedrag wordt aangenomen	Ja (TO-Juli)
Empirisch ter plaatse	Adaptief thermisch comfort (ATG) de Dear et al. (1997); Van der Linden et al. (2006)	T_{buiten} , $T_{op;binnen}$	Representatief voor adaptief gedrag in een grote populatie kantoorgebouwen	Ja (ATG)
	Peeters et al. (2009)	T_{buiten} , $T_{op;binnen}$ (woon, slaap en badkamer)	Representatief voor adaptief gedrag in een populatie woningen	Nee ($TO_{peeters}$)

1.4.2 Adaptief gedrag, persoonlijke en sociaaleconomische eigenschappen

De mate thermisch comfort mede bepaald door de subjectieve beleving en het aanpassende gedrag van de gebruiker. In de literatuur worden de volgende vormen van adaptatie door gebruikers onderscheiden (Brager et al. 1998):

- Gedragmatige adaptatie: persoonlijke adaptatie (e.g.: kleding, maaltijden, houding, etc.), omgevingsadaptatie (e.g.: het openen van ramen) en culturele adaptatie (andere werktijden, kledingvoorschriften, etc.)
- Fysiologische adaptatie: genetische adaptatie en acclimatisatie.
- Psychologische adaptatie.

Deze vormen van adaptatie en mate waarin die plaatsvinden zijn persoonlijk en cultureel bepaald (Auliciems 1981)

1.4.3 Gebruikersgedrag: interacties met het gebouw

Tabel 4 geeft een samenvatting van de conclusies uit verschillende studies betreft het effect van gebruikersgedrag op de opwarming van de woning. Een uitvoerigere versie van deze tabel is te vinden in Appendix C. Uit de literatuurstudie komt naar voren dat vooral de bediening van buitenzonwering (van Hooff et al. 2014; Hoevers 2021) en het openen en sluiten van ramen (van Hooff et al. 2014; Hoevers 2021; de Vries et al. 2020) een zeer sterke invloed hebben op de binnenluchttemperatuur. De interne warmtelast (apparatuur, verlichting, aantal mensen) blijken een kleinere rol te spelen. Le Grand et al. (2014) vond dat binnenzonwering een negatief effect had op de hitte in de woning, en vond geen duidelijk verband tussen de buitenzonwering en ventilatie. Dit kwam mede omdat in deze studie van beide opties weinig gebruik was gemaakt. Hierdoor was het verband lastig na te gaan.

Tabel 4 Samenvatting van de in de literatuur gerapporteerde relatie tussen gebruikersgedrag gebouwenkenmerken en oververhitting in de woning. De tabellen in geven een uitvoerigere opsomming van de conclusies uit de afzonderlijke studies

	HVA	GGD Gelderland	TU Eindhoven	TU Eindhoven	HKV Consultant s	Nieman Cornelisse et al. (2019)			
	de Vries et al. (2020)	le Grand et al. (2014)	van Hooff et al. (2014)	Hoevers (2021)	Terpstra et al. (2019)				
Bediening van binnenzonwering	-	--				+			
Bediening van buitenzonwering	-	-	++	++	++	++			
Gedrag in het openen van ramen	+++	-	+++	++	++	++			
Interne warmtelast (apparatuur, etc.)	-			+					
Legenda:									
+++	Sterk positief effect	++	Positief effect	+	Gering positief effect	-	Geen verband	--	Negatief effect

Uit de metingen tijdens de hittegolf van 2019 door de Vries et al. (2020) bleek de maximale temperatuur in een woning die dag en nacht geventileerd werd, 5.5°C lager dan een woning waar de ramen altijd gesloten waren. Uit de steekproef van 11 woningen kwamen tevens een vijftal handelingspatronen naar voren met verschillende effecten op de temperatuur in de woning (Tabel 5). Nachtventilatie (alleen 's nachts de ramen openen) bleek het meest gunstigste gedrag en leidde tot een maximaal temperatuurverschil van 2 tot 4°C in vergelijking tot woningen waar 's nachts niet geventileerd werd. Dat het effect van verschillen in het handelingspatroon groot is, werd tevens middels simulatiestudies bevestigd door van Hooff et al. (2014). Uit deze studie bleek dat het handelingspatroon in het openen van ramen zo'n 100-400 GTO-uren verschil kan maken waarbij ook hier zomer nacht ventilatie zorgen voor de meest gunstige uitkomst.

Tabel 5: Handelingspatronen in het openen van ramen door bewoners gevonden door de Vries et al. (2020)

Gedrag	Altijd open	Altijd gesloten	's Ochtends open	Overdag open	's Nachts open			
Open	0:00-24:00	Nooit	7:00-9:00	9:00-22:00	17:00-8:00			
Gesloten	Nooit	0:00-24:00	9:00-7:00	22:00-9:00	8:00-17:00			
Effect	+	--	-	-	++			
Legenda	Zeer gunstig	++	Gunstig	+	Ongunstig	-	Zeer ongunstig	--

Wat betreft zonwering en de bediening daarvan door gebruikers zijn er verschillen op te merken in de bevindingen van de verschillende studies. In tegenstelling tot de verwachting, kon uit de empirische studies niet geconcludeerd worden dat buitenzonwering de binnenlucht temperatuur in de woning verlaagde (van Daalen et al. 2010; de Vries et al. 2020). Uit de regressie analyse van meetdata gedurende de warme zomer van 2012 door van Daalen et al. (2010), bleek zelfs dat de aanwezigheid en het neerlaten van de zonwering gecorreleerd was met een hogere temperatuur in de woning. Het is echter zeer aannemelijk dat dit komt doordat bewoners in warme woningen vaker de zonwering omlaag zetten dan bewoners in woningen die minder opwarmen. De simulatiestudies (van Hooff et al. 2014; Hoevers 2021) en interviews met deskundigen (Teun et al. 2019; Cornelisse et al. 2019) wijzen er echter op dat het vaker neerlaten van de zonwering door bewoners leidt tot een substantieel lagere opwarming van de woning. Zo leidde verschillen in het handelingspatroon in de bediening van buitenzonwering tot een verschil van 100-600 GTO-uren in de studie van Hoevers (2021). Ook blijkt dat in de praktijk situatie bewoners veelal niet het gunstigste handelingspatroon vertonen en dat de zonwering niet altijd omlaag gezet wordt op door de zon belaste gevels (van Daalen et al. 2010).

De meest invloedrijke gebruikersgedrag aspecten (de bediening van zonwering en het oppennen van ramen) zullen verder onderzocht worden in de simulatiestudie. Hierin zullen de in de literatuur geïdentificeerde handelingspatronen het uitgangspunt vormen voor de te onderzoeken varianten.

Appendix A: uitvoerige tabellen kwalitatieve literatuurstudie gebouw

	GGD Gelderland: le Grand et al. (2014)	Nieman RI: Cornelisse et al. (2019)	GGD Brabant/Zeeland: van Daalen et al. (2010)
Bouwjaar (isolatie)	De woonkamer en slaapkamer in een woning uit 1930 (minder isolatie) waren 0.6°C koeler dan een woonkamer en slaapkamer uit een woning gebouwd na 1985 (meer isolatie).		
Woningtype	Twee onderzochte woningtypen: appartement (flat) of tussen/hoek woning. Een tussenwoning is 0.4 °C koeler dan een appartement. Bij slaapkamers was dit 0.6 °C koeler dan in appartementen.		
Ligging en verdieping kamers	In woonkamers en slaapkamers op de begane grond was het 1.6-2.2°C graden koeler dan woonkamers en slaapkamers direct onder het dak. Voor elke verdieping hoger is de woonkamer gemiddeld 0.3 °C warmer.		De gemiddelde binnentemperatuur bij mensen wonende op de bovenste verdieping was hoger dan die van mensen die op andere verdiepingen wonen (respectievelijk 25.4 versus 24.5 °C).
Bouwmassa	Geen significant verband gevonden tussen bouw materiaal en de binnentemperatuur.	Meer bouwmassa vult warmtepieken en dalen af en verkleint daarmee de kans op oververhitting.	
Grootte en oriëntatie van de ramen	Slaapkamers met een groter raamoppervlak op het oosten, zuiden of westen waren warmer (0.2°C/m ² raamoppervlak). Voor ramen op het Noorden was dit 0.1°C/m ² raamoppervlak. Deze relatie is niet gevonden voor woonkamers.	Glas op het oosten of westen vergroot de kans op oververhitting, vooral wanneer het glasoppervlak groter is dan 30% van het vloeroppervlak. Het glas oppervlak op het zuiden is minder bepalend omdat de zon daar effectief kan worden geweerd door een overstek of een scherm.	

	HVA: de Vries et al. (2020)	HKV Consultants: Teun et al. (2019)	TU Delft: Taleghani et al. (2015)
Bouwjaar	Niet onderzocht (alle woningen hadden een lage isolatiegraad).	Door verhogen van de isolatiewaarde neemt de warmte binnen juist toe, vooral bij slechte of ontbrekende ventilatie en het ontbreken of onjuist gebruik van zonwering.	
Woningtype	Geen direct verband gevonden.		
Ligging en verdieping kamers	Dak verdieping behaalde de hoogste temperaturen. Invloed van zonsinstraling is duidelijk zichtbaar in de zolder temperatuur en minder sterk in de tussenverdieping.		
Bouwmassa	Niet meegenomen.		
Groote en oriëntatie van de ramen	Geen duidelijk verband tussen temperatuur en het percentage glas in de gevel.	Door de oriëntatie van ramen zo te kiezen dat directe zoninstraling wordt verminderd, warmt een gebouw minder snel op. Een oriëntatie van de gevelopeningen op het noorden en zuiden zal leiden tot de minste oververhitting.	De oriëntatie van ramen op het zuiden draagt bij aan het voorkomen van opwarming binnenshuis in de zomer. Het hebben van minder ramen op het westen of oosten zorgt namelijk voor minder zontoetreding (oververhitting) in de zomer.
Type glas		Een lage ZTA-waarde vermindert de zonnearmtewinst. Nadeel is dat ook in de winter minder zon binnenkomt.	
Overstek	Een diep overstek boven ramen op het zuiden houdt de zomerzon effectief tegen terwijl de winterzon wel ver naar binnen kan schijnen.	Overstek heeft hetzelfde effect als zonwering buiten, mits bij iedere zonnestand instraling wordt voorkomen. Een voordeel van overstek is dat het geen menselijk handelen vereist.	Overstek
Verspringing voorgevel	Schaduw door verspringende gevels (in één) bouwblok, telt in de TO_{vrij} -berekening mee. Schaduw van gebouwen in de omgeving telt niet mee. Het effect is beperkt.		Verspringing voorgevel

Appendix B: uitvoerige tabel kwantitatieve literatuurstudie gebouw

	Rijwoning tussen	Vrijstaande of hoekwoning	Appartement tussen	Appartement dak
Oriëntatie van de ruimte/ woning	Zonder zonwering: Zuidoost geeft ~550 meer GTO-uren dan Noordwest [1] Met zonwering: verschillen zijn klein [1, 2] Oriëntatie kan tot ~1750 GTO-uren verschil maken			
Hoogte (bouwlaag) van de woning			Woning op 24-52 meter hoogte heeft ~700-800 minder GTO-uren dan op de begane grond vanwege betere natuurlijke ventilatie [1].	
Mate van isolatie	Van bouwbesluit naar passiefhuis, toename van: ~80-100 GTO-uren [1] ~30-40 GTO _{Peeters} -uren [3] Koudevraag neemt toe (~10 kWh/m ²) bij hogere isolatie maar blijft laag in absolute zin. [4] Van geen isolatie naar Rc 5: 325-975 TOP _{Peeters} -uren [5]	Van bouwbesluit naar passiefhuis: toename van ~0-80 GTO-uren [1] Toename van ~0-80 GTO-uren door transitie van bouwbesluit naar passiefhuis [1] Van geen isolatie naar Rc 5: 400-900 TOP _{Peeters} -uren [5]	Van bouwbesluit naar passiefhuis: afname van ~30-70 GTO-uren [1]	Van bouwbesluit naar passiefhuis: afname van ~50-90 GTO-uren [1] Van geen isolatie naar Rc 5: 600-1200 TOP _{Peeters} -uren [5]
Thermische massa	Hoge thermische massa: ~100 minder GTO-uren [1] ~190 minder TOP _{Peeters} -uren [5]	Hoge thermische massa: ~50-150 minder GTO-uren [5, 6] ~190 minder GTO-uren [1] ~100 minder TOP _{Peeters} -uren [5]	Hoge thermische massa: ~350 minder GTO-uren [1]	Hoge thermische massa: ~370 minder GTO-uren [1] ~200 minder TOP _{Peeters} -uren [5]

Raam grootte	5-10% meer glas in de gevel leidt tot een toename van: ~0-80 GTO-uren [1] Hogere thermische massa verkleint dit effect Verdubbeling raamgrootte: ~1900 GTO-uren (zonwerende beglazing)[8]	5-10% meer glas in de gevel leidt tot een toename van: ~30-150 GTO-uren [1] Hogere thermische massa verkleint dit effect	5-10% meer glas in de gevel leidt tot een toename van: ~80-320 GTO-uren [1] Hogere thermische massa verkleint dit effect	5-10% meer glas in de gevel leidt tot een toename van: ~80-330 GTO-uren [1] Hogere thermische massa verkleint dit effect
Type glas	Zonwerend glas in relatie tot regulier HR glas (geen zonwering) geeft een verlaging van: ~1450 GTO-uren [1]	Zonwerend glas, een verlaging van: ~1000-2300 GTO-uren [1]	Zonwerend glas, een verlaging van: ~2900 GTO-uren [1]	Zonwerend glas, een verlaging van: ~2400 GTO-uren [1]
	Rijwoning tussen	Vrijstaande of hoekwoning	Appartement tussen	Appartement dak
Overstek	Overstek van 0.8m biedt in relatie tot geen zonwering een verlaging van: ~1000 GTO-uren [1]	Overstek, een verlaging van: ~600-1500 GTO-uren [1]	Overstek, een verlaging van: ~2100 GTO-uren [1]	Overstek, een verlaging van: ~1750 GTO-uren [1]
Dynamische zonwering	Buitenzonwering biedt in relatie tot geen zonwering een verlaging van: ~750 GTO-uren [1]	Buitenzonwering, een verlaging van: ~1200-2600 GTO-uren [1] ~250-400 minder GTO-uren [6]	Buitenzonwering, een verlaging van: ~3000 GTO-uren [1]	Buitenzonwering, een verlaging van: ~2700 GTO-uren [1]
Verticale beschaduwing	Effect op thermisch comfort is klein [9]	Effect op thermisch comfort is klein [9]	Effect op thermisch comfort is klein [9]	Effect op thermisch comfort is klein [9]
Verhogen luchtsnelheid (ventilatoren)	Ventilatoren kunnen: PMV met 0.3-0.5 verlagen [10]. Acceptatie temperatuur verhogen tot 30°C [11].			
Mechanische ventilatie (type), koude terugwinning, en bypass	Koude terugwinning: ~50 minder GTO-uren [2] Verdubbeling ventilatie debiet:	Type systeem: 20-150 GTO-uren verschil [1]	Type systeem: 350-550 GTO-uren verschil [1]	Type systeem: 350-600 GTO-uren verschil [1]

	~260 minder GTO-uren [2] Type systeem: 10-20 GTO-uren verschil [1]	Zomer nacht ventilatie: ~700 minder GTO-uren [1]	Zomer nacht ventilatie: ~1500 minder GTO-uren [1]	
Blauwgroen dak	Bij lage isolatie (R_{cdak}:0.8): ~40 minder TOPeeters-uren [5]		Bij lage isolatie (R_{cdak}:0.8): ~40 minder TOPeeters-uren [5]	Green roof: 2-6% decrease in TO-uren (ATG) [11] Bij lage isolatie (R_{cdak}:0.8): ~40 minder TOPeeters-uren [5]
Hoog reflecterende gevel en/of dak	Bij matige isolatie: Effect op GTO is klein [1] Sterk geïsoleerd: Effect op koeling is klein en verwarmingsenergie stijgt [12] Bij lage isolatie (R_{cgevel}:0.4): ~100-200 minder TO _{Peeters} -uren (van Hooff et al. 2014)	Bij matige isolatie: Effect op GTO is klein [1] Bij lage isolatie (R_{cgevel}:0.4): ~150-200 minder TO _{Peeters} -uren (van Hooff et al. 2014)	Bij matige isolatie: Effect op GTO is klein [1]	Bij matige isolatie (R_{cgevel}:4.7 M2K/W): ~80 minder GTO-uren [1] Bij lage isolatie (R_{cgevel}:0.4): ~200-450 minder TO _{Peeters} -uren (van Hooff et al. 2014)
	Rijwoning tussen	Vrijstaande of hoekwoning	Appartement tussen	Appartement dak
Groene gevel	Slecht-matig geïsoleerde woningen: klein effect [14] Goed geïsoleerde woningen: verwaarloosbaar effect [14, 15]	Zie ook hoog reflecterend dak.	Zie ook hoog reflecterend dak.	Zie ook hoog reflecterend dak.
Zonnepanelen	Niet expliciet onderzocht. Zie hoog reflecterend dak literatuur.	Zie hoog reflecterend dak literatuur.	Zie hoog reflecterend dak literatuur.	Zie hoog reflecterend dak literatuur.
Interne warmtelast (apparatuur, etc.)	120 W/pers: - ~5 GTO-uren [1] 180 W/pers: referentie scenario 240 W/pers: +-50 GTO-uren		120 W/pers: -200 GTO-uren [1] 180 W/pers: ref. scenario 240 W/pers: +-500 GTO-uren	

Literatuur kwantitatieve literatuurstudie gebouw

1. Hoevers, J.H. (2021). *Evaluation of the TOJuly indicator in relation to current and future challenges of overheating in the residential building stock*, in *Faculty of the Built Environment*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
2. Leenaerts, C. (2019). *Maatregelen tegen oververhitting*. Geraadpleegd van: <https://www.lente-akkoord.nl/rekenen-aan-maatregelen-tegen-oververhitting/>
3. Kotireddy, R., Loonen, R., Hoes, P.J., & Hensen, J.L.M. (2019). Building performance robustness assessment: Comparative study and demonstration using scenario analysis. *Energy and Buildings*, 202, 109362.
4. Butt, A.A. (2019). *Investigating energy saving potential of switching solar absorptance coatings on buildings*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
5. Van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J.L.M., & Timmermans, H.J.P. (2014). On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment*, 82, p. 300-316.
6. Hoes, P., Trcka, M., Hensen, J.L.M., & Hoekstra Bonnema, B. (2011). Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. *Energy Conversion and Management*, 52(6), p. 2442-2447.
7. Hoes, P. (2014). *Computational performance prediction of the potential of hybrid adaptable thermal storage concepts for lightweight low-energy houses*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
8. Nuiten, P., & Leenaerts, C. (2018). *Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG eisen*. Utrecht/Eindhoven: W/E Adviseurs en RVO.
9. Cornelisse, M., & Valk, H. (2019), *Eisen aan temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen*. Zwolle: Nieman.
10. Ho, S.H., Rosario, L., & Rahman M.M. (2009). Thermal comfort enhancement by using a ceiling fan. *Applied Thermal Engineering*, 29(8): p. 1648-1656.
11. Kurvers, S.R., van der Linden, A.C., & Cauberg, H. (2015). *Literatuurstudie thermisch comfort*. Delft: RVO.
12. Taleghani, M., Tenpierik, M., & van den Dobbelen, A. (2014). Indoor thermal comfort in urban courtyard block dwellings in the Netherlands. *Building and Environment*, 82, p. 566-579.
13. Butt, A.A., de Vries, S.B., Loonen, R.C.G.M., Hensen J.L.M., Stuiver A., van den Ham J.E.J., & Erich B.S.J.F. (2021). Investigating the energy saving potential of thermochromic coatings on building envelopes. *Applied Energy*, 291, p. 116788.
14. Terpstra, T., Huizinga, J., Hurkmans, R., & Jacobs C. (2019). *Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel*. Overijssel: HKV Lijn in Water.
15. Ottel , M., & Perini, K. (2017). Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. *Ecological Engineering*, 108, p. 152-161.

Appendix C: Uitvoerige tabel literatuurstudie gebruikersgedrag

	HVA	GGD Gelderland	TU Eindhoven	TU Eindhoven	HKV Consultants	Nieman
	de Vries et al. (2020)	le Grand et al. (2014)	van Hooff et al. (2014)	Hoevers (2021)	Terpstra et al. (2019)	Cornelisse et al. (2019)
Bediening van binnenzonwering	Uit de meetresultaten is niet direct de invloed van binnenzonwering en buitenzonwering af te lezen.	Een 10 uur langer gebruik van binnen zonwering hangt samen met een 0,1 °C hogere temperatuur.				Ook reflecterende binnenzonwering telt mee in de TOjuli-bepaling.
Bediening van buitenzonwering	Uit de meetresultaten is niet direct de invloed van binnenzonwering en buitenzonwering af te lezen.	Slaapkamers zonder zonwering warmen gemiddeld 0,9 °C minder op dan slaapkamers met buitenzonwering.		100-600 GTO-uren verschil afhankelijk tussen verschillende handelingspatronen.	Zonwering is één van de meest effectieve maatregelen om de binnentemperatuur te verlagen. In de praktijk kan de 'correcte' bediening echter lastig zijn. Zonneschermen bijvoorbeeld zijn gevoelig zijn voor wind.	Verticale screens (op west en oost) houden de zon effectief tegen. Let op dat verticale screens de spui ventilatie kunnen beperken. Op zuid kan een uitvalscherf effectief zijn.
Gedrag in het openen van ramen	Het ventilatiegedrag heeft invloed op de binnentemperatuur. De mate van invloed verschilt. Het openen van een raam overdag als de temperatuur buiten hoger is dan 25 °C zorgt voor opwarming binnen.	Voor iedere 10 uur dat overdag geventileerd is, is de temperatuur in de woonkamer gemiddeld 0,1 °C hoger.	100-400 GTO-uren verschil afhankelijk tussen verschillende handelingspatronen (ramen altijd open versus alleen 's nachts)	0-200 GTO-uren verschil door verschillend spui gedrag in de ochtend.	Het openen van ramen is één van de meest effectieve maatregelen. Het brengt echter een verhoogd inbraakrisico met zich mee en oudere mensen zijn veelal bang voor tocht.	Te openen ramen en deuren zijn normale voorzieningen voor spui ventilatie. Deze voorzieningen zijn echter niet vrij voor regeninslag, insecten en inbraak.

						<p>Zomernachtventilatie heeft een groter effect. Van zomernachtventilatie is sprake als de spuivoorzieningen insecten-, regen- en inbraakwerend zijn en dus de hele nacht open kunnen staan.</p> <p>Het grootste effect is te verwachten van tweezijdige zomernachtventilatie, liefst boven en beneden.</p>
Interne warmtelast (apparatuur, etc.)	De invloed van de interne warmtelast is in de publicatie klein			0-50 GTO-uren voor rijwoningen en vrijstaande woningen 0-700 GTO-uren voor appartementen		
Nota bene:		Het is aannemelijk dat de correlaties het gevolg zijn gebruikers gedrag dat volgt uit een warmere woning en niet de oorzaak				

Appendix D: Tabellen effecten van gebiedsmaatregelen

Soort	Maatregel	Verkoelings-Principe	Maatregel		Typisch schaal-niveau waarop maatregel effectief is		Verkoelende effecten gevonden in literatuur			Extra informatie
			Vooraf voor		Stad	Lokaal	Luchttemperatuur [°C]		Gevoels-temperatuur [°C PET]	
			Dag	Nacht			Stad	Lokaal		
Groen	Bomen/leibomen	Verdamping, beschaduwing	X		X	X	0,2 - 2,7	0,7 - 2,7	3,4 - 19,0	Effect afhankelijk van boomtype en -grootte en het lokale klimaat.
	Gras/Struiken	Verdamping, reflectie	X	X	X	X	0,1 - 1,1	0,9 - 1,2	0,4 - 4,9	Effect van een gezond goed verdampend grasveld. Gras heeft ook effect op oppervlakte-temperatuur (tot 20°C kouder dan beton).
	Grasbetontegels	Verdamping	X	X		X	--	--	--	
	Groene gevels	Verdamping	X	X		X	0 - 1,9	0,2 - 1,5	??	Hoe smaller de straat, hoe groter het effect op de luchttemperatuur. Groter effect voor gevels met meer zonnestraling.
	Groene daken (extensief)	Verdamping		X	X		0 - 1,8	0 - 0,8	--	Een met sedum bedekt groen dak geeft weinig verkoeling 's nachts (vergeleken met een wit dak). Effect op stadsniveau is als 100% van alle daken in de stad groen zijn.
	Groene daken (intensief)	Verdamping	X	X	X		0 - 1,7	1,0 - 1,6	--	Effect op stadsniveau is als 100% van alle daken in de stad groen zijn.

	Park/groene wiggen in de stad	Verdamping, Beschaduwing	X	X	X			??	1,1 - 2,0	1,9 - 4,2	Effect afhankelijk van vegetatietype (boom versus gras), boomgrootte , grootte van het park en het lokale klimaat. Effect op PET gemeten in schaduw is groter dan hier genoemd.
--	-------------------------------	--------------------------	---	---	---	--	--	----	-----------	-----------	---

Soort	Maatregel	Verkoelings-principe	Maatregel vooral voor		Typisch schaal-niveau waarop maatregel effectief is		Verkoelende effecten gevonden in literatuur			Extra informatie
			Dag	Nacht	Stad	Lokaal	Luchttemperatuur [°C]		Gevoels-temperatuur [°C PET]	
							Stad	Lokaal	Lokaal	
Blauw	Vijvers	Verdamping	X			X	0,5 - 1,3	0,5 - 0,7	0,6 - 3,6	Effect afhankelijk van het temperatuurverschil tussen water en lucht en de grootte van het waterlichaam.
	Meer	Verdamping	X		X		1,0 - 2,0	0,5 - 1,6	??	Effect afhankelijk van het temperatuurverschil tussen water en lucht en de grootte van het waterlichaam.
	Singels/ grachten/ sloten	Verdamping	X			X	??	0,1 - 0,8	0,2 - 2,0	Effect afhankelijk van het temperatuurverschil tussen water en lucht en de grootte van het waterlichaam.
	Rivier	Verdamping, ventilatie	X		X		??	0,5 - 4,0	1,0 - 4,0	Effect afhankelijk van het temperatuurverschil tussen water en lucht en de grootte van het waterlichaam.
	Fonteinen	Verdamping	X			X	--	1,0 - 4,7	1,0 - 5,0	

Vernevelings- installaties	Verdamping	X			X	--	0,7 - 3,0	??	Data zijn van Japanse studies.
Besprekings- straten	Verdamping	X			X	--	0,8 - 3,0	??	
Polderdaken	Verdamping	X		X		??	--	--	Effect vergelijkbaar met dat van een intensief groen dak.

Geciteerde literatuur

- Auliciems, A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, 25(2), 109-22. <https://doi.org/10.1007/BF02184458>.
- Brager, G.S., & de Dear, R.J. (1998) Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83-96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
- Butt, A.A., de Vries, S.B., Loonen, R.C.G.M., Hensen, J.L.M., Stuver, A., van den Ham, J.E.J., & Erich, B.S.J.F. (2021). Investigating the energy saving potential of thermochromic coatings on building envelopes. *Applied energy*, 291, 116788. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116788>.
- Cornelisse, M., & Valk, H. (2019), Eisen aan temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen. Zwolle: Nieman.
- de Dear, R., Brager, G., & Cooper, D. (1997). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference - Final Report on RP-884. Berkeley: ASHRAE.
- de Vries, F., Heller, R., Melet, E., & Kluck, J. (2020). *Woning hitteproef 2019 - Onderzoek naar factoren die van invloed zijn op de daadwerkelijke temperatuur in bestaande woningen tijdens (extreem) warme dagen*. Amsterdam: HVA.
- Dijkhuizen, N.M., Aerts, J.C., Marcus, J.G., van Buuren, B., Fiechter, J., Janse, D.J., Kroon, J., Moree, J., van Daalen, M.P.A., & Hoving, J.R. (2007). *Installatie-eisen Nieuwbouw eengezinswoningen en appartementen*. Rotterdam: ISSO.
- Echevarria Icaza, L. (2017). Urban and regional heat island adaptation measures in The Netherlands. *Architecture And The Built Environment*, 20, 1-308. <https://doi.org/10.7480/abe.2017.20.1874>
- Fanger, P.O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(4), p. 313-24.
- Foken, T., & Napo, C.J. (2008). *Micrometeorology (Vol. 308)*. Berlin: Springer.
- Guattari, C., Evangelisti, L., Asdrubali, F., & De Lieto Vollaro, R. (2020). Experimental Evaluation and Numerical Simulation of the Thermal Performance of a Green Roof. *Applied Sciences*, 10(5), 1767.
- Hoevers, J.H (2021). *Evaluation of the TOJuly indicator in relation to current and future challenges of overheating in the residential building stock (MSc thesis)*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Jacobs, C., Klok, L., Bruse, M., Cortesão, J., Lenzholzer, S., & Kluck, J. (2020). Are urban water bodies really cooling? *Urban Climate*, 32, 100607.
- Kluck, J., Loeve, R., Bakker, W.J., Kleerekoper, L., Rouvoet, M.M., Wentink, R., Viscaal, J.H., Klok, E.J., & Boogaard, F.C. (2017). *Het klimaat past ook in uw straatje: De waarde van klimaatbestendig inrichten. Voorbeeldenboek*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.

- Le Grand, A., Duijm, F., Greven, F., van Loenhout, J., Zuurbier, M., & Hoek, G. (2014). Blootstelling aan hitte bij ouderen in stadswoningen. Arnhem: GGD Groningen, GGD Gelderland-Midden, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht.
- KNMI (2015). *KNMI'14-klimaatsscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
- KNMI (2021). *Klimaatsignaal '21: Hoe het klimaat in Nederland snel verandert*. De Bilt: KNMI.
- Li, H., Harvey, J.T., Holland, T.J., & Kayhanian, M. (2013). The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8, 015023.
- NEN (2018). *NTA 8800: Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Nuiten, P., & Leenaerts, C. (2018). Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG eisen. Utrecht/Eindhoven: W/E Adviseurs en RVO.
- Olivieri, F., Cocci Grifoni, R., Redondas, D., Sánchez-Reséndiz, J.A., Tascini, S. (2017). An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. *Energy and Buildings*, 150, 132-48 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.068>.
- Ottelé, M., & Perini, K. (2017). Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. *Ecological Engineering*, 108, 152-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.016>.
- Peeters, L., de Dear, R., Hensen, J., & D'haeseleer, W. (2009). Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. *Applied energy*, 86 (5), 772-80. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.011>.
- Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 445-459.
- Steenefeld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., & Theeuwes, N.E. (2014). Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning*, 121, 92-96.
- Taleghani, Mohammad, Laura Kleerekoper, Martin Tenpierik, and Andy van den Dobbelen. 2015. "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands." *Building and Environment* 83:65-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>.
- Terpstra, T., Huizinga, J., Hurkmans, R., & Jacobs C. (2019). *Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel*. Overijssel: HKV Lijn in Water.
- Tudiwer, David, and Azra Korjenic. 2017. "The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade." *Energy and Buildings* 135:10-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.023>.
- van Daalen, E., & van Riet, N. (2010). Onderzoek naar warmtebeleving bij ouderen, zomer 2010. Tilburg: Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid GGD Brabant/Zeeland.

- van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., Raue, A.K., Kurvers, S.R. & de Dear, R.J. (2006). Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands: A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings*, 38 (1), 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.008>.
- van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J.L.M., & Timmermans, H.J.P. (2014). On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment* 82:300-16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.027>.
- Van Hove, B., Jacobs, C., Heusinkveld, B., Hartogensis, O., Ronda, R., Brolsma, R., Klok, L., Schrijvers, P., & Hutjes, R. (2014). Hoe werkt het lokale klimaat in Nederlandse steden en hoe beïnvloedt stedelijke inrichting het lokale klimaat? In V. Rovers, P. Bosch en R. Albers (Eds.), *Eindrapport Climate Proof Cities*, 11-32. Kennis voor Klimaat.

