

# Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen



## Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen

### Auteur(s)

TNO  
Vera Rovers  
Marijke Menkveld

Deltares  
Rutger van de Brugge  
Reinder Brolsma  
Ivo Pothof

### Partners

TNO EnergieTransitie, Amsterdam

## Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Opdrachtgever</b>  | Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties               |
| <b>Contactpersoon</b> | Sabine Jansen, Johan Slobbe  |
| <b>Referenties</b>    | Opdracht 2022-0000061283 d.d. 17 februari 2022                         |
| <b>Trefwoorden</b>    | Koudevraag, koelbehoefte, energievraag, koeling, model instrumentarium |

### Documentgegevens

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| <b>Versie</b>        | 1.2                   |
| <b>Datum</b>         | 11-10-2022            |
| <b>Projectnummer</b> | 11207754-000          |
| <b>Document ID</b>   | 11207754-000-HYE-0002 |
| <b>Pagina's</b>      | 58                    |
| <b>Classificatie</b> |                       |
| <b>Status</b>        | definitief            |

### Auteur(s)

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | TNO: Vera Rovers, Marijke Menkveld.<br>Deltares: Rutger van de Brugge, Reinder Brolsma, Ivo Pothof. |  |
|  |   |  |

| Doc. Versie | Auteur  | Controle   | Akkoord                                | Opmerkingen           |
|-------------|---|------------|--|-----------------------|
| 0.1         | TNO: Vera Rovers, Marijke Menkveld.<br>Deltares: Rutger van de Brugge, Reinder Brolsma, Ivo Pothof. | Ivo Pothof | Bas van Vossen                         | Startnotitie 15 april |
| 0.2         | TNO: Vera Rovers, Marijke Menkveld.<br>Deltares: Rutger van de Brugge, Reinder Brolsma, Ivo Pothof. | Ivo Pothof | Bas van Vossen                         | Concept kennisagenda  |
| 1.1         | TNO: Vera Rovers, Marijke Menkveld.<br>Deltares: Rutger van de Brugge, Reinder Brolsma, Ivo Pothof. | Ivo Pothof | Bas van Vossen                         | 8 september           |
| 1.2         | TNO: Vera Rovers, Marijke Menkveld.<br>Deltares: Rutger van de Brugge, Reinder Brolsma, Ivo Pothof. | Ivo Pothof | Bas van Vossen<br>Richard van der Gaag | Definitief            |

# Samenvatting

## Urgentie

Als onderdeel van de energietransitie moet de huidige gas-gedomineerde warmtevoorziening vervangen worden door duurzame warmtesystemen. Op dit moment wordt er in deze transitie niet genoeg rekening gehouden met de koudevraag, terwijl 20% van de huishoudens al een airco heeft en het gebruik daarvan door klimaatverandering zal toenemen. Het aantal tropische dagen is al verdubbeld in de afgelopen 2 klimaatperiodes (1961 – 1990 en 1991 – 2020; KNMI (2021)) en kan tot 2050 nog met een factor 2,5 toenemen (KNMI (2014)). Door geen rekening te houden met de toenemende koelbehoefte wordt het elektriciteitsverbruik en de (piek)belastingen op het elektriciteitsnet onderschat en wordt met een deel van de energiehuishouding geen rekening gehouden in de energietransitie. Ook andere maatschappelijk impacts, zoals mortaliteit, lagere arbeidsproductiviteit en energie-armoede als gevolg van hittestress zijn niet goed in te schatten.

## Visie

Vanwege een toenemende koelbehoefte zou de koudevraag zou meer aandacht moeten krijgen in de energietransitie. De gevolgen van een toenemende koudevraag moeten daarom in beeld gebracht worden, evenals de mogelijkheden voor een duurzame invulling van de koudevraag. Koeling kan een rol spelen in duurzame verwarming door de overtollige zomerwarmte in gebouwen op te slaan in een seizoensopslag voor de winter. Op basis daarvan zou binnen het energietransitie-beleid ook 'koudebeleid' ontwikkeld moeten worden. Door de huidige gascrisis en de warme zomer is er nu momentum.

## Kennisontwikkeling

Koudebeleid voor de bebouwde omgeving is een nieuw onderwerp in Nederland. Er is nog veel onbekend over de impacts van de koudevraag en koeling en welke opties wanneer het meest geschikt zijn. Het is daarom noodzakelijk om structureel kennis op te bouwen over de koelbehoefte, de toename van de koudevraag, de impacts op het elektriciteitsnet, gezondheid en arbeidsproductiviteit en de effectiviteit van maatregelen en beleidsinstrumenten. Deze Kennisagenda Koude geeft aan hoe de kennishiaten de komende jaren ingevuld kunnen worden.

## Korte termijn no regret beleidsacties

We hoeven niet te wachten op de nieuwe inzichten om al eerste stappen te maken. We weten dat maatregelen als zonwering en nachtventilatie werken. Een bewustwordingscampagne over de Do's en Don'ts tijdens hete perioden zou al veel huishoudens kunnen helpen. Ook zouden maatregelen gestimuleerd kunnen worden met bijvoorbeeld een subsidie. Zorg er verder voor dat de toekomstige koudevraag en mogelijkheden voor invulling van de koudevraag in warmtetransitieplannen worden meegenomen.

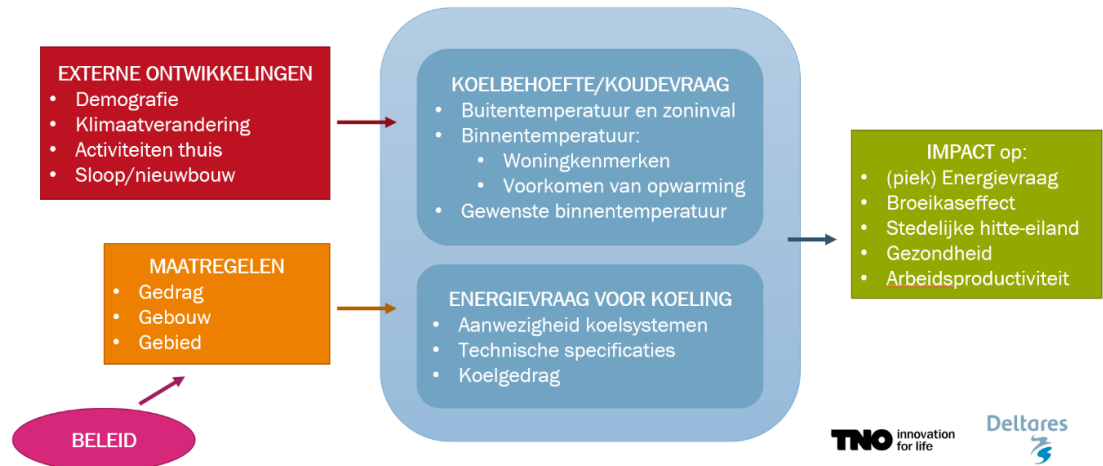
## Kennisagenda Koude

Deltares en TNO hebben de kennishiaten en benodigde acties geïnventariseerd en een Kennisagenda Koude opgesteld. De Kennisagenda is geordend volgens het schema van figuur 1. Centraal staan daarin de blauwe blokken met de kennisvragen die betrekking hebben op de koelbehoefte en de resulterende koudevraag van het gebouw en vervolgens de energievraag voor koeling. In het groene blok hebben de kennisvragen betrekking op de impacts als aan die koudevraag zou worden voldaan. In het rode blok staan de kennisvragen die betrekking hebben op de ontwikkelingen buiten het energiesysteem, maar die wel relevant zijn voor (een toename van) de koelbehoefte, koudevraag en impact. In het oranje blok staan de kennisvragen centraal die betrekking hebben op het effect van maatregelen op de koelbehoefte



en koudevraag. De kennisvragen over het koudebeleid staan tot slot in het roze blok en hebben invloed op de maatregelen.

De Kennisagenda is op deze wijze opgebouwd om een totaalbeeld te krijgen van welke kennis nodig is om het koudebeleid te ontwikkelen. Met betrekking tot alle blokken in Figuur 1 moet nog kennis ontwikkeld. Door de kennis te integreren in een modelinstrumentarium kunnen de effecten van (beleids)maatregelen op de koudevraag, energievraag en de impacts berekend worden. Per blok zijn de kennishiaten en kennisvragen geïdentificeerd.



Figuur 1. Kenniscomponenten in de Kennisagenda Koude.

### 1. Kwantificeren van de huidige en toekomstige **koelbehoefte en koudevraag** van woningen

Een koelbehoefte ontstaat wanneer bewoners de temperatuur in huis niet meer acceptabel of comfortabel vinden. De koelbehoefte vertaalt zich in een koudevraag voor de woningen en is afhankelijk van hoe de woning opwarmt. Met betrekking tot de *koelbehoefte* zijn er verschillende modellen die het thermisch comfort kunnen bepalen. Deze zijn echter vaak gebaseerd op jongvolwassenen (terwijl fysiologie, behuizing en handelingsperspectief kan verschillen tussen doelgroepen) en niet altijd gespecificeerd voor Nederland. Wij adviseren daarom om de komende jaren tijdens de zomer in Nederland bij verschillende doelgroepen onderzoek te doen naar wat een acceptabele binnentemperatuur is, en waar en wanneer de koelbehoefte zich voordoet.

Met betrekking tot de *koudevraag* zijn de belangrijkste kennishiaten:

- De integratie van de verschillende aspecten in de modellen, zoals de koppelingen tussen gebouw fysica, inrichting van de buitenruimte (schaduw) en het effect op de binnentemperatuur, het bewonersgedrag en klimaatscenario's.
- Validatie van de modellen in de praktijk
- Tijdsreeksen van uurdata van meteorologische variabelen voor koudevraag onder klimaatverandering zijn nog niet beschikbaar. Hierdoor kan de dagvariatie (pieken en nachtventilatie) op extreem hete dagen of bijvoorbeeld jaargemiddelden nog niet worden meegenomen in de modellen

Wij adviseren daarom om een gevalideerd (fysisch) model te ontwikkelen dat met verschillende klimaatscenario's en gebouwtypen en – maatregelen de koelbehoefte uit kan rekenen. Daarnaast moeten de klimaatscenario's van het KNMI geschikt worden gemaakt om door te rekenen in de dynamische modellen (uur-tijdreeksen).

## 2. *Kwantificeren van de huidige en toekomstige **energievraag voor koeling** in woningen*

De energievraag voor koeling wordt bepaald door de koudevraag, de aanwezige (actieve) koelsystemen, de technische specificaties van die systemen en het koelgedrag door de gebruikers. De belangrijkste kennishiaten zijn:

- Hoeveel gebouwen in Nederland worden momenteel actief gekoeld en hoe (airco's, bodemkoeling en koudnetten)?
- Wanneer schaffen mensen een airco aan en wat zijn de drijfveren en overwegingen?
- Hoe worden de verschillende koelsystemen gebruikt?

Er zijn cijfers beschikbaar voor 2021. Wij adviseren echter om vanwege de snelle toename dit jaarlijks te updaten.

Met betrekking tot de energievraag van de koelsystemen is een belangrijk kennishiaat:

- Vanwege het gebrek aan metingen van het energiegebruik van koelsystemen in woningen worden in de berekeningen aannames gedaan over het energiegebruik.

Wij adviseren daarom om een aantal zomers lang metingen in de praktijk te doen van het energiegebruik van koelsystemen en onderzoek te doen naar het koelgedrag in relatie tot de buiten- en binnentemperatuur. Met deze (gevalideerde) kennis over de energievraag van koeling per koelsysteem kan een rekenmodel worden ontwikkeld of de kennis kan aan een bestaand model worden toegevoegd.

## 3. *Bepalen van **externe ontwikkelingen** die invloed hebben op de toekomstige koudevraag en energievraag (scenario's)*

Naar verwachting neemt de koudevraag in de toekomst steeds meer toe, voornamelijk als gevolg van de klimaatverandering. Maar ook ontwikkelingen buiten het energiesysteem, zoals in de demografie (verstedelijking, vergrijzing), economie (thuiswerken), in de woning- en bouwvoorraad en in de buitenruimte zijn van invloed op de koudevraag van de toekomst. De belangrijkste kennishiaten op dit onderdeel zijn:

- Mondiale klimaatvoorspellingen zijn niet doorvertaald naar lokale temperaturen.
- Validatie van Urban Heat Island modellen is nog beperkt.
- Scenariostudies zoals de Welvaart en Leefomgevingsscenario's hebben een te grote resolutie. Ook daar is een doorvertaling naar kleiner schaalniveau nodig.
- Hoe gaat er in de toekomst gebouwd worden? Hoe gaan we in de toekomst om met oriëntatie van woningen, vergroening en vernatting, open plekken en doorwaaien in nieuwbouwlocaties en herinrichtingsgebieden?

We adviseren daarom om na te gaan hoe klimaatscenario's en socio-economische scenario's vertaald kunnen worden naar een lokaal niveau. Voor klimaatscenario's op lokaal niveau moeten bijvoorbeeld Urban Heat Island modellen gevalideerd worden. Daarnaast adviseren we om een set van specifieke koude-scenario's te ontwikkelen, waarin de aannamen expliciet worden gemaakt. Deze zouden voor verschillende studies gebruikt kunnen worden.

## 4. *Bepalen van **maatregelen** die de toekomstige koudevraag en energievraag kunnen invullen en/of verminderen*

Maatregelen kunnen betrekking hebben op het gedrag van bewoners, op bouwmaatregelen en gebiedsmaatregelen. Maatregelen kunnen de koudevraag reduceren, door opwarming van de woning te voorkomen, of de energievraag voor koeling verminderen. Hierbij zijn van belang

de omvang van toepassing van maatregelen, de effectiviteit van de maatregelen, de energie-efficiëntie en de kosten. Belangrijkste kennishiaten zijn:

- Op gebouwniveau is er geen overzicht van de effectiviteit van mogelijke maatregelen
- De koppeling van modellen op gebiedsniveau met modellen voor het binnenklimaat van gebouwen is nog niet goed ontwikkeld.
- Het effect van gebiedsmaatregelen is vooral onderzocht overdag en niet 's nachts. Het koelvermogen van nachtventilatie is daardoor nog niet bekend.
- Er is nog maar weinig bekend over de keuzes en gedrag van bewoners met betrekking tot actieve koeling.
- Ook over de mate waarin dit gedrag kan worden beïnvloed is nog weinig bekend.

We adviseren om de effectiviteit van maatregelen die in de modelsimulaties wordt berekend te valideren in de praktijk. Ook adviseren wij om de komende jaren tijdens de zomer onderzoek te doen naar de mate waarin mensen maatregelen nemen en hoe effectief die zijn.

##### 5. *Bepalen van **beleidsinstrumenten** die invloed kunnen hebben op het nemen van maatregelen*

Met beleidsinstrumenten worden financiële instrumenten bedoeld, zoals subsidies of heffingen, juridische instrumenten, zoals wetgeving en beleidsplannen en communicatieve instrumenten, zoals voorlichtingscampagnes. Door middel van deze beleidsinstrumenten kunnen concrete maatregelen (zoals beschreven onder punt 4) gestimuleerd worden. De belangrijkste kennishiaten zijn:

- Onduidelijkheid of er in de bestaande subsidieregelingen ook maatregelen om de koudevraag te beperken kunnen worden meegenomen.
- Op welke wijze kan het actieve en passieve koelgedrag beïnvloed worden met prijsprikkels?
- Hoe koude evenwichtig kan worden meegenomen in de beleidsplannen op verschillende niveaus, zoals de Transitievisies warmte, Omgevingsplannen en Warmteplannen (Warmte-koudeplannen).
- Hoe mensen bewust gemaakt kunnen worden over hun (koel)gedrag en gestimuleerd kunnen worden om te investeren in passieve koeling?

We adviseren om de komende jaren te onderzoeken welke beleidsinstrumenten ingezet kunnen worden om koude-maatregelen te stimuleren. Er moet worden onderzocht of het zinvol is om passieve koeling op te nemen in de subsidieregelingen. Daarnaast zou onderzocht moeten worden hoe in de regelgeving en in de beleidsplannen beter rekening gehouden kan worden met de toekomstige koudevoorziening. Een goed startpunt hiervoor zou een onderzoek zijn naar hoe in het buitenland wordt omgegaan met reguleren van de koudevoorziening en het stimuleren van maatregelen voor koeling. Deze voorbeelden zouden vervolgens vertaald kunnen worden naar de Nederlandse context.

##### 6. *Kwantificeren van de mogelijke **impacts** van de toenemende koelbehoefte en de energievraag (bij verschillende scenario's en maatregelen).*

De koudevoorziening heeft op meerdere domeinen impacts. De belangrijkste zijn:

- Netwerken (energievraag voor koeling, piekbelasting)
- Leefbaarheid (comfort in gebouwen en arbeidsproductiviteit)
- Gezondheid (slaapproblemen, gezondheidsproblemen, ziekenhuisopname en sterfte)

De kennishiaten met betrekking tot de impacts zijn:

- Het (kwantitatieve) effect van koeling op de (piek)belasting van het elektriciteitsnet is op dit moment niet te bepalen.
- In hoeverre is er gelijktijdigheid van productie, bijvoorbeeld door PV en de koelvraag, en is een eventuele onbalans op te lossen, bijvoorbeeld met accu's?
- Hoeveel risico lopen de energiedoelstellingen?
- Het effect van lekkage en vrijkomen van koudemiddelen in airco's
- Het effect van de uitgeblazen warmte van airco's in relatie tot hittestress.
- Wanneer leidt hitte tot gezondheidsrisico's? Bij welke omstandigheden komen welke mensen in hoog-risico groepen precies in problemen?
- De economische impact van verlaagde arbeidsproductiviteit.

Wij adviseren om de integratie van modellen op orde te brengen krijgen, zodat de impacts daadwerkelijk bepaald kunnen gaan worden.

Daarnaast bevelen we een aantal onderzoeken aan om meer inzicht te krijgen over de verschillende impacts:

- Naar het broeikaseffect van het gebruik van koudemiddelen in airco's met onderscheid naar type airco, koudemiddel en de energieprestatie van de airco.
- Naar het effect van airco's op de buitentemperatuur en welke condities van invloed zijn
- Naar de impact van oververhitting op comfort en gezondheid in de Nederlandse context.

### **Conclusie**

De belangrijkste bevindingen zijn de volgende:

- We weten nog te weinig af van het koelgedrag van bewoners en maatregelen die zij nemen om opwarming van de woning te voorkomen.
- De koppeling tussen de bestaande modellen die verschillende aspecten behandelen ontbreekt.
- Veel van de modelcomponenten zijn nog onvoldoende gevalideerd met meetdata.
- Door bovenstaande redenen is er nog te weinig bekend over de effectiviteit van maatregelen en mogelijke beleidsinstrumenten.
- Het kennisniveau over de impacts van oververhitting in bestaande gebouwen is in andere landen binnen de EU ook matig ontwikkeld.

Voor elk van de hoofdonderzoeksvragen is nog veel kennis en informatie nodig. Om veel van bovenstaande kennishiaten te adresseren adviseren wij om meerdere zomers een uitgebreid onderzoek te doen in een combinatie van enquêtes en praktijkmetingen naar diverse aspecten rond koeling in woningen, waaronder:

- Hittebeleving en in hoeverre mensen wennen aan de hitte
- Waar en wanneer de koelbehoefte zich voordoet
- Relatie tussen de lokale buitentemperatuur en de binnentemperatuur en woningkenmerken
- Effectiviteit van maatregelen
- Het gebruik van actieve koeling en energiegebruik
- Drijfveren rond de aanschaf van koelsystemen

Om landelijk de impacts van (beleids)maatregelen te kunnen berekenen is het nodig om de kennis van de verschillende onderzoeksvragen te integreren in een modelinstrumentarium. Het opbouwen van het instrumentarium kan in verschillende fases plaatsvinden, parallel aan het ontwikkelen van kennis in de verschillende onderdelen.

Bij het opbouwen van deze kennis is het belangrijk dat de diverse partijen die aan het onderwerp werken worden verbonden, evenals de kennis en modellen. Wij adviseren daarom om alle bestaande en nieuwe kennis en het modelinstrumentarium breed beschikbaar te maken voor alle geïnteresseerde partijen die een bijdrage willen leveren aan het oplossen van het koudevraagstuk.



### **Actieplan**

Op korte termijn wordt geadviseerd om te starten met de uitwerking van de eerste kennisvraag: “Kwantificeren van de huidige en toekomstige koelbehoefte en koudevraag van woningen”. Deze uitwerking geeft een eerste indicatie van de omvang van het probleem en de urgentie om deze te adresseren. Het model dat voor deze stap gebruikt/ontwikkeld wordt, is een eerste onderdeel van het modelinstrumentarium dat in de Kennisagenda wordt beschreven. De overige onderzoeksvragen zoals de energievraag van koeling, het lokale klimaat, beleidseffecten en impacts op de maatschappij kunnen in een later stadium aan het model worden toegevoegd.

Echter, voordat kan worden gestart met de opzet van dit model is het noodzakelijk om een goed beeld te krijgen van hoe het integrale modelinstrumentarium eruit komt te zien. Daarvoor moeten nog de volgende vragen te beantwoorden:

- a. Wat is het precieze doel van het model?
- b. Welke functionele eisen volgen uit deze formulering van het doel?
- c. In hoeverre voldoen bestaande modellen aan deze eisen?

Hieruit volgt of er al een model beschikbaar is dat reeds gebruikt kan worden of dat er een model moeten worden ontwikkeld of verder uitgewerkt. Dit bepaalt mede welke partijen in deze fase worden betrokken bij de eerste opzet van een model voor de koudevraag van woningen in Nederland.

# Inhoud

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>Samenvatting</b> |  | <b>4</b>  |
| <b>1</b>            | <b>Inleiding</b>   | <b>12</b> |
| 1.1                 | Aanleiding   | 12        |
| 1.2                 | Doelstelling   | 13        |
| 1.3                 | Aanpak   | 13        |
| 1.4                 | Leeswijzer   | 14        |
| <b>2</b>            | <b>Koelbehoefte/koudevraag</b>   | <b>15</b> |
| 2.1                 | Kennisvragen   | 15        |
| 2.2                 | Wanneer wordt hitte als te hinderlijk ervaren en is er daadwerkelijk een koelbehoefte?   | 15        |
| 2.3                 | Hoe is de relatie tussen lokale buitentemperatuur en binnentemperatuur?  | 19        |
| <b>3</b>            | <b>Energievraag voor koeling</b>   | <b>23</b> |
| 3.1                 | Kennisvragen   | 23        |
| 3.2                 | In hoeverre wordt de koudevraag ingevuld wordt met actieve koelsystemen?   | 23        |
| 3.3                 | Wat is de verwachte ontwikkeling in toepassing van actieve koelsystemen?   | 25        |
| 3.4                 | Wat is het energiegebruik van diverse koelsystemen?  | 26        |
| 3.5                 | Hoe worden koelsystemen gebruikt door bewoners?  | 28        |
| <b>4</b>            | <b>Externe ontwikkelingen</b>  | <b>30</b> |
| 4.1                 | Kennisvragen   | 30        |
| 4.2                 | Wat is de toename van de buitentemperatuur als gevolg van klimaatverandering en het stedelijk hitte-eilandeffect?                      | 30        |
| 4.3                 | Welke toekomstige ontwikkelingen zijn te verwachten met betrekking tot maatschappelijke factoren die relevant zijn voor de koudevraag? | 31        |
| 4.4                 | Hoe ontwikkelt de woning- en bouwvoorraad zich en hoe wordt bebouwd gebied in de toekomst ingericht?                                   | 32        |
| 4.5                 | Hoe moeten we omgaan met de onzekerheden ten aanzien van de externe ontwikkelingen?  | 33        |
| <b>5</b>            | <b>Maatregelen</b>   | <b>34</b> |
| 5.1                 | Kennisvragen   | 34        |
| 5.2                 | Welke maatregelen kunnen worden genomen op gebouwniveau?   | 34        |
| 5.3                 | Welke maatregelen kunnen worden genomen op gebiedsniveau?  | 36        |
| 5.4                 | Welke gedragsmaatregelen kunnen worden genomen?  | 38        |
| <b>6</b>            | <b>Beleidsinstrumenten</b>   | <b>40</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 6.1      | Kennisvragen  | 40        |
| 6.2      | Welke financiële beleidsinstrumenten kunnen worden ingezet?                   | 40        |
| 6.3      | Welke juridische instrumenten kunnen worden ingezet?                          | 41        |
| 6.4      | Welke communicatieve instrumenten kunnen worden ingezet?                      | 42        |
| 6.5      | Voorbeelden in het buitenland   | 42        |
| 6.6      | Acties  | 44        |
| <b>7</b> | <b>Impacts</b>  | <b>45</b> |
| 7.1      | Kennisvragen  | 46        |
| 7.2      | Wat is de impact van koeling op (de belasting van) het energiesysteem?        | 46        |
| 7.3      | Wat is de impact van koeling op het broeikaseffect?                           | 47        |
| 7.4      | Wat is de impact van koeling op het stedelijk hitte-eilandeffect?             | 48        |
| 7.5      | Wat is de impact van oververhitting van woningen op comfort en gezondheid?    | 49        |
| 7.6      | Wat is de impact van oververhitting van woningen op de arbeidsproductiviteit? | 50        |
|          | <b>Referenties</b>  | <b>51</b> |
| A.1      | Gezondheid, comfort en arbeidsproductiviteit                                  | 55        |
| A.2      | Gedrag en beleid  | 55        |
| A.3      | Ruimtelijke inrichting en gebiedsmaatregelen                                  | 55        |
| A.4      | Marketing en psychologie t.b.v. aanschaf airco's                              | 56        |
| A.5      | Energiegebruik en broeikasemissies  | 56        |
| A.6      | Rekenmodellen   | 56        |

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Onderdeel van de energietransitie is dat in 2050 alle gebouwen in Nederland aardgasvrij moeten zijn. Dit betekent een transitie van een warmtevoorziening op basis van aardgas naar een warmtevoorziening op basis van duurzame bronnen en individuele of collectieve warmtesystemen. Vanwege deze opgave is er veel aandacht voor warmte in de RES-en en Transitievisies Warmte.

De toekomstige koudevraag krijgt echter nauwelijks aandacht, terwijl de koudevraag wel degelijk van belang is in de energietransitie. Ten eerste omdat de koudevraag toeneemt door opwarming buitenshuis vanwege klimaatverandering en verstedelijking. Het KNMI<sup>1</sup> verwacht dat het aantal zomerse dagen (met een maximumtemperatuur boven de 25 graden) zal toenemen van gemiddeld 26 in de periode 1981-2010 naar 33-47 dagen in 2050, afhankelijk van het scenario (Figuur 1). Het aantal tropische dagen (met een maximumtemperatuur boven de 30 graden) neemt naar verwachting toe van 4 naar 7-14 dagen (Figuur 2). Daarbij is er in bebouwd gebied ook sprake van een stedelijk hitte-eilandeffect waar de temperatuur 's nachts tot 8 graden warmer kan zijn dan in het buitengebied (de Nijs, 2019, p. 20).

Verbeteringen in de isolatiegraad en luchtdichtheid zorgen ervoor dat de warmte van buiten beter wordt tegengehouden. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met goede ventilatie en het voorkomen van zoninstraling, anders warmt de zon de woning van binnenuit op. Woningcorporaties hebben te maken met klachten van bewoners over oververhitting na renovatie (zie ook 2.2.1). Ook kan vergrijzing zorgen voor een toename in de koelbehoefte doordat ouderen minder goed tegen hitte kunnen.

Wanneer deze koudevraag leidt tot een toename van het gebruik van airco's heeft dit ook effecten op de elektriciteitsvoorziening. Hoe groot die koude-energievraag is en welk capaciteit dit vraagt van het elektriciteitsnet, is echter nog onduidelijk.

| <b>Langjarig gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar voor De Bilt (maximumtemperatuur <math>\geq 25^{\circ}\text{C}</math>) voor 1981-2010 en voor de KNMI'14-scenario's rond 2050 en 2085</b> |       |                           |       |       |
|--|-------|---------------------------|-------|-------|
| 1981-2010:   | 26    | KNMI'14-klimaatscenario's |       |       |
|  | $G_L$ | $G_H$                     | $W_L$ | $W_H$ |
| rond 2050  | 33    | 36                        | 39    | 47    |
| rond 2085  | 35    | 40                        | 56    | 63    |

Figuur 1 Verwachting voor het aantal zomerse dagen in de toekomst (bron: KNMI)

| <b>Langjarig gemiddeld aantal tropische dagen per jaar voor De Bilt (maximumtemperatuur <math>\geq 30^{\circ}\text{C}</math>) voor 1981-2010 en voor de KNMI'14-scenario's rond 2050 en 2085</b> |       |                           |       |       |
|--|-------|---------------------------|-------|-------|
| 1981-2010:   | 4     | KNMI'14-klimaatscenario's |       |       |
|  | $G_L$ | $G_H$                     | $W_L$ | $W_H$ |
| rond 2050  | 7     | 9                         | 10    | 13    |
| rond 2085  | 8     | 11                        | 16    | 21    |

Figuur 2 Verwachting voor het aantal tropische dagen in de toekomst (bron: KNMI)

<sup>1</sup> [https://www.knmi.nl/nederland-nu/KNMI14\\_klimaatscenario's/temperatuur](https://www.knmi.nl/nederland-nu/KNMI14_klimaatscenario's/temperatuur)

Ten tweede is de koudevraag van belang in de afweging tussen aardgasvrije individuele warmtesystemen, collectieve systemen met hoge temperaturen en collectieve systemen met zeer lage temperaturen. Collectieve systemen met zeer lage temperatuur warmtenetten (10-20°C) of individuele systemen met bodemlussen kunnen directe koeling leveren en zijn daarmee mogelijk gunstiger dan warmte-oplossingen met een hogere temperatuur waarbij geen koeling mogelijk is. Om in de afweging tussen aardgasvrije warmtesystemen ook de koudevraag te kunnen meewegen is meer inzicht nodig in de te verwachten ontwikkeling van de koudevraag en de consequenties daarvan voor het energiesysteem.

Diverse partijen zijn op verschillende vlakken rond koeling in Nederlandse woningen werkzaam en doen onderzoek naar de oorzaken en gevolgen. De Koelte Alliantie<sup>2</sup> verzamelt op het platform koelebuurt.nl kennis, ervaringen en ideeën over het onderwerp. Er is echter nog geen helder overzicht van de bestaande en beschikbare kennis en daarmee van de kennis die nog ontbreekt om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de koude- en energievraag.

## 1.2 Doelstelling

Doel van deze studie is het opstellen van een kennisagenda omtrent de toenemende koelbehoefte en energievraag voor koeling in woningen in Nederland. De scope van de kennisagenda is gericht op onderstaande twee vragen:

1. Hoe groot wordt de toekomstige koudevraag en de daaraan gerelateerde energievraag?
2. Welke effecten kunnen we verwachten van toenemende koudevraag?

In de aanwezigheid van seizoensopslag kan de eerste vraag ook geformuleerd worden als een kans in de warmtetransitie: Hoeveel overtollige zomerwarmte kan uit woningen onttrokken worden voor duurzame verwarming in de overige seizoenen?

## 1.3 Aanpak

Om de 2 hoofdvragen te beantwoorden structureren we deze Kennisagenda langs de volgende onderwerpen:

1. Kwantificeren van de huidige en toekomstige **koelbehoefte en koudevraag** van woningen
2. Kwantificeren van de huidige en toekomstige **energievraag voor koeling** in woningen
3. Bepalen van **externe ontwikkelingen** die invloed hebben op de toekomstige koudevraag en energievraag (scenario's)
4. Bepalen van **maatregelen** die de toekomstige koudevraag en energievraag kunnen invullen en/of verminderen.
5. Bepalen van **beleidsinstrumenten** die invloed kunnen hebben op het nemen van maatregelen.
6. Kwantificeren van de mogelijke **impacts** van de toenemende koelbehoefte en de energievraag (bij verschillende scenario's en maatregelen).

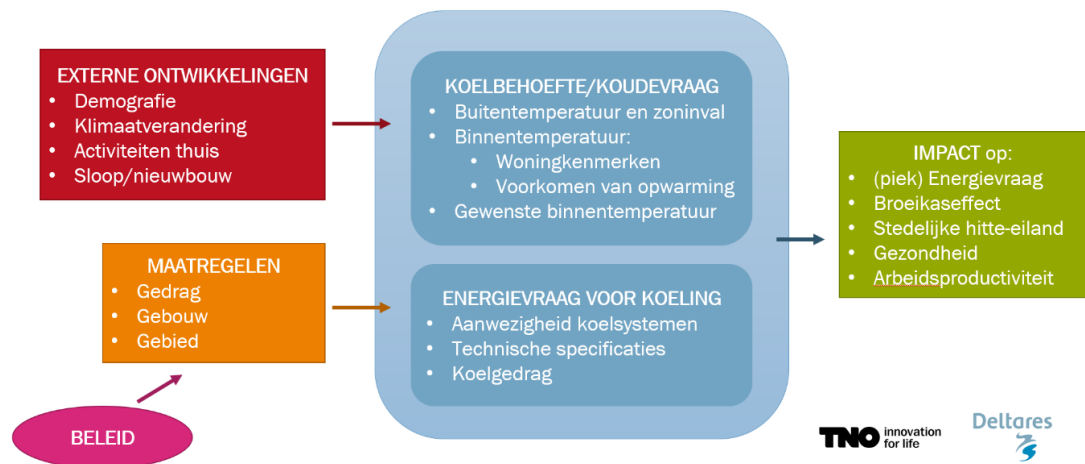
De samenhang tussen deze 6 (vetgedrukte) hoofdonderwerpen is weergegeven in Figuur 3. In deze Kennisagenda worden de onderzoeksvragen voor elk van deze zes onderwerpen verder gespecificeerd. Op basis van literatuurstudie, de eigen expertise van het projectteam en gerichte aanvullende interviews met inhoudsdeskundigen op de verschillende onderdelen zijn de beschikbare kennis en bestaande modellen geïnventariseerd en zijn de 'kennishiaten' zichtbaar gemaakt. De geïnterviewde partijen zijn: Hogeschool van Amsterdam, W/E adviseurs, PBL, Tauw, Arcadis en Klimaatverbond Nederland. Op basis daarvan geven we aan welke kennisvragen opgepakt moeten worden en welke acties daarvoor nodig zijn.

---

<sup>2</sup> Klimaatverbond Nederland, Stichting W/E adviseurs en de Hogeschool van Amsterdam



Als alle hoofdonderwerpen en relaties daartussen op voldoende detailniveau modelmatig ingevuld kunnen worden, dan beschikken we over een model-instrumentarium, waarmee de relevante impacts en onzekerheden bepaald kunnen worden, zodat daarmee een strategie voor de gewenste ontwikkeling bepaald kan worden.



Figuur 3: Elementen om de toekomstige koudevraag en impacts op het energiesysteem te kwantificeren

### Koelbehoefte, koudevraag en energievraag voor koeling

We maken in dit document onderscheid tussen deze termen. Een **koelbehoefte** ontstaat op het moment dat de temperatuur in huis boven een gewenste temperatuur uit komt en is persoonsafhankelijk. Op dat moment ontstaat er een **koudevraag** voor de woning. In de Europese norm (ISO 13790: 2008) wordt de energiebehoefte voor verwarming en koeling gedefinieerd als 'de warmte te leveren aan, of te onttrekken aan, een geconditioneerde ruimte, om de beoogde temperatuur te handhaven gedurende een bepaalde periode van tijd'.

Als we het hebben over de vraag naar warmte, dan wordt deze bijna altijd ook ingevuld met een verwarmingssysteem. Bij de koudevraag zijn er 3 mogelijkheden: 1) niet invullen; 2) passieve actie, dat wil zeggen zonder energiegebruik, bijvoorbeeld het voorkomen van opwarming door zonwering en ventilatie ; 3) of actief koelen. Bij beperkte invulling van de koudevraag kan het warmer worden in de woning dan gewenst.

Als de koudevraag wordt ingevuld met een koelsysteem dan kan daar energiegebruik aan verbonden zijn. Afhankelijk van het type koelsysteem, bijvoorbeeld een airco of een bodemwarmtepomp, kan dat veel of weinig zijn. Bij de **energievraag voor koeling** hebben we het over het finale energiegebruik.

## 1.4 Leeswijzer

De volgende 6 hoofdstukken (2 t/m 7) geven een overzicht van de huidige kennis en kennishiaten op de 6 hoofdonderwerpen. De synthese staat in de uitgebreide samenvatting. Bijlage A bevat een overzicht van kennisvragen per discipline.

## 2 Koelbehoefte/koudevraag

Een koelbehoefte ontstaat wanneer bewoners de temperatuur in huis niet meer acceptabel of comfortabel vinden. Hoe mensen hitte beleven is persoonsafhankelijk en kan ook verschillen gedurende een hitteperiode als het lichaam zich aanpast. Ook de activiteit die iemand uitvoert heeft invloed op het comfort bij een bepaalde temperatuur.

De koelbehoefte vertaalt zich in een koudevraag voor de woningen en is afhankelijk van hoe de woning opwarmt. Belangrijke factoren die van invloed zijn op de relatie tussen de binnentemperatuur en de buitentemperatuur zijn de oriëntatie (met name van de ramen), de isolatiegraad, de (nacht)ventilatiemogelijkheden en de aanwezigheid van zonwering. Uiteraard is ook het gedrag van bewoners van belang in bijvoorbeeld het gebruik van de zonwering en nachtventilatie. Het voorkomen van opwarming en passieve koeling komt aan bod onder het hoofdstuk 'Maatregelen'.

### 2.1 Kennisvragen

#### Hoofdvraag

Hoe kan de koelbehoefte en de daaraan gerelateerde koudevraag worden bepaald?

#### Subvragen

Dit leidt tot de volgende subvragen:

- Wanneer wordt hitte als hinderlijk ervaren (of: leidt het tot negatieve gevolgen) en ontstaat er een koelbehoefte?
- Hoe is de relatie tussen buitentemperatuur en binnentemperatuur?

### 2.2 Wanneer wordt hitte als te hinderlijk ervaren en is er daadwerkelijk een koelbehoefte?

#### 2.2.1 Huidige kennis

##### 2.2.1.1 Modelling

De koelbehoefte hangt af van diverse factoren waaronder de omgeving (luchttemperatuur, luchtvochtigheid, gemiddelde stralingstemperatuur, en lichtsnelheid) en de persoon (activiteit, kleding, en lichaamsbouw, gezondheid, acclimatisatie en afkomst).

Bij het bepalen van koelbehoefte bestaan er verschillende richtlijnen en wordt er verschil gemaakt tussen natuurlijk geventileerde gebouwen en gebouwen met airconditioning. Er bestaat voornamelijk geen enkel model wat de grote individuele spreiding in thermische voorkeur kan verklaren; wel bestaan er modellen die nauwkeurig de verwachte koelvraag van een groep personen kan voorspellen.

Voor natuurlijk geventileerde gebouwen is er de 'adaptive thermal comfort' richtlijn (ASHRAE) en bestaat uit een empirisch model waarin de relatie tussen een geaccepteerde binnentemperatuur en het gewogen 10-daags gemiddelde van de buitentemperatuur is bepaald; hierin is verwerkt dat mensen zich aanpassen aan de temperatuur zoals minder actief worden en zich luchtiger kleden. In Adaptive Thermal Comfort/Gemak-modellen wordt vaak niet luchttemperatuur, maar de operationele temperatuur (gemiddelde van lucht en stralingstemperatuur) gebruikt.

Voor air conditioned gebouwen is ISO 7730 <sup>3</sup>oftewel het predicted mean vote (PMV) en predicted people dissatisfied (PPD) model leidend. Het PMV model is een warmtebalansmodel en kan gebruikt worden om te bepalen hoe de gemiddelde warmtesensatie van een groep zal zijn. Vervolgens kan het PPD model worden gebruikt om in te schatten welk percentage van de groep ontevreden zal zijn met het binnenklimaat. De minimale PPD is 5%, dat wil zeggen dat er geen enkel binnenklimaat bestaat waar iedereen tevreden zal zijn als zij dezelfde kleding dragen en hetzelfde activiteiten niveau hebben. Het PMV model is ontwikkeld in klimaatkamerstudies. Er is kritiek op het PMV/PPD model omdat de standaard invoerwaarden voor kleding en activiteitsniveau veel kunnen verschillen voor groepen; echter omdat het een warmtebalans model is, is het wel mogelijk te variëren met de invoerwaarden.

Het adaptive thermal comfort model en het PMV model zijn geen thermofysiologische modellen; in die zin dat ze niet de reactie van het lichaam op de warmte (vasodilatatie en/of gradaties van zweten) meenemen in de berekeningen. Er bestaan meerdere warmtebalansmodellen die dat wel doen, bijvoorbeeld de Physiological Equivalent Temperature (PET) die gebruikt wordt in comfort studies, of de Predicted Heat Strain (PHS ISO7933) die gebruikt wordt in occupational health voor het bepalen van onveilige situaties. Dit zijn thermofysiologische modellen waarin het lichaam als twee schillen wordt gesimuleerd (een lichaamskern en de huid). Een voorbeeld van een model wat de thermische omgeving (luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en lichtsnelheid), en persoonskarakteristieken (isolatie door kleding en warmteproductie door activiteit en basaal metabolisme) koppelt aan de ervaring daarvan wordt gegeven door de PET-schaalverdeling. Op basis van deze PET-schaalverdeling begint een koelbehoefte te ontstaan vanaf een PET temperatuur van 23 °C als de persoon in rust is (80W) als er kleding gedragen wordt equivalent aan 0.9 clo (bijv. t-shirt + hemd met lange mouwen + lange broek).

De PET-schaalverdeling obv fysiologisch onderzoek hanteert de volgende schaalverdeling zie tabel 1 (De Nijs et al., 2019).

Tabel 1: Overzicht PET klassen met bijbehorende perceptie en fysiologisch stressniveau

| PET [°C] | Perceptie   | Fysiologische stress |
|----------|-------------|----------------------|
| 13 – 18  | Fris        | Lichte koudestress   |
| 18 – 23  | Comfortabel | Geen stress          |
| 23 – 29  | Beetje warm | Lichte warmtestress  |
| 29 – 35  | Warm        | Matige warmtestress  |
| 35 – 41  | Heet        | Grote warmtestress   |
| >41      | Zeer heet   | Extreme warmtestress |

Tot slot zijn er zeer uitgebreide thermofysiologische modellen zoals het Fiala-model en ThermoSEM (beheerd door TU/eindhoven) waarin de lichaamstemperatuur en de processen die daar een rol in spelen in 3D segmenten gesimuleerd wordt. In algemene zin zijn de thermofysiologische modellen ontwikkeld op data van jongvolwassen gezonde proefpersonen.

### Onderzoeksresultaten

Monitoring van Nul-op-de-Meter (NOM) projecten, die vergaand zijn gerenoveerd, laat zien 23% tot 44% van de bewoners de woning na renovatie te warm vond in de zomer (Energiesprong|Platform31, 2015). In het project in Kerkrade zijn passieve maatregelen

<sup>3</sup> <https://www.nen.nl/nen-en-iso-7730-2005-en-104787>

toegepast (overstek en nachtventilatie) en in Montferland is actief gekoeld met luchtwarmtepompen.

| Projectnaam       | 'te warm in de zomer' |
|-------------------|-----------------------|
| Kerkrade          | 34%                   |
| Ulft              | 23%                   |
| Amsterdamse buurt | 44%                   |
| Montferland       | 25%                   |

Figuur 4 Percentage bewoners per project dat hun woning als te warm ervaart in de zomer.

Uit diverse onderzoeken blijkt dat zo'n tweederde van de mensen nu al last heeft van hitte in de woning in de zomer (HvA 2020, Groot et al. 2021, TNO 2021). In een vragenlijst uitgezet door TNO geeft 16% van de mensen aan dat de woning wel te warm wordt, maar er geen last van hebben (Rovers et al., 2021). Uit het onderzoek van Jaga komt dat 48% van de respondenten de temperatuur in huis in de zomer meestal comfortabel vindt en 13% altijd. In het hittebelevingsonderzoek van Tauw gaf zo'n 60% geeft aan door de hitte slaapproblemen te ervaren en minder energie te hebben (Groot et al., 2021).

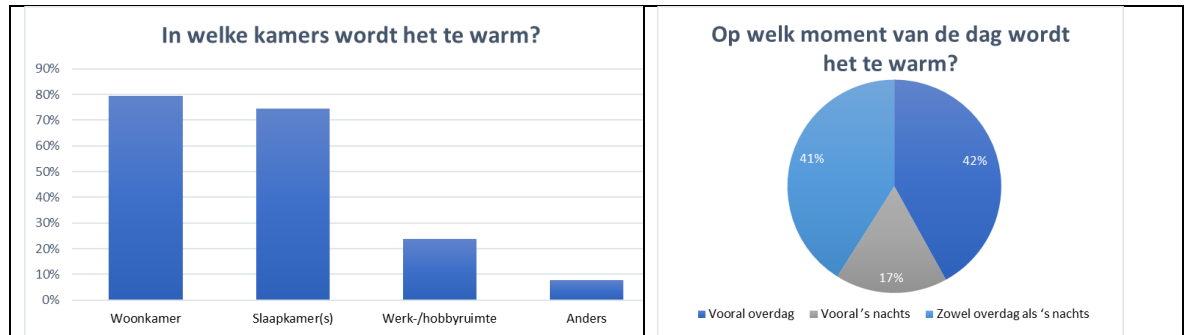
Qua temperatuur gaat de NTA8800 uit van koeling vanaf een setpoint van 24 graden, TO-juli vanaf ongeveer 27 graden. Uit de vragenlijst van TNO (2021) komt dat de meeste mensen (25%) een binnentemperatuur van 25 °C de grens vormt vanaf wanneer ze het te warm vinden, maar bijna de helft ook al onder de 25 °C (TNO, 2021). In het onderzoek van Jaga geeft 72% van de respondenten aan het tot een temperatuur van 25 graden nog comfortabel te vinden in huis, bij een temperatuur tussen de 25-30 graden is dat nog maar 23%.



Figuur 5: Enquêtevraag over te warme woningen tijdens de (relatief koele) zomer van 2021 (TNO, 2021).

De respondenten hebben ook aangegeven waar en wanneer de opwarming plaatsvindt. De woonkamer wordt iets vaker (79%) genoemd dan de slaapkamer (74%) (Figuur 6). Ongeveer

evenveel respondenten geven aan dat het vooral overdag te warm is, als zowel overdag als 's nachts. Bij 17% is het vooral 's nachts te warm.



Figuur 6 Antwoorden uit de enquête van 2021 (TNO 2021)

De Hogeschool van Amsterdam gaat met een consortium in 2022 en 2023 onderzoek doen bij honderd woningen in het RAAK-project (Heller et al., 2021) met focus op bestaande woningen van corporaties. De hoofdvraag in dit project is de volgende:

*In welke mate vormt hitte in de woning een probleem, nu en in de toekomst, en welke maatregelen (ingrepen en voorlichting) kunnen corporaties, gemeenten en provincies nemen om woningen koel te houden?*

Hierbij worden binnentemperaturen gemeten en wordt bewoners gevraagd om een logboek bij te houden en enquêtes in te vullen. Met deze data wordt de TOjuli-rekenmethode getoetst en wordt beoordeeld in hoeverre verkoelende maatregelen effectief, toepasbaar en acceptabel zijn. Onduidelijk is of ook de lokale omstandigheden buiten de woning worden gemeten, onder andere de lokale buitentemperatuur, zoninstraling en wind.

### 2.2.2 Kennishiaten

Er is een kennislacune hoe thermofysiologische modellen (e.g. PET, Fiala en ThermoSEM) aan te passen voor verschillende populaties (bijv. ouderen en mensen met diabetes of cardiovasculaire aandoeningen). Daarmee zou de koelvraag voor met name de kwetsbaren in de samenleving beter geduid kunnen worden. Daarnaast is er ook behoefte aan een specifiek Nederlandse variant van het adaptieve thermal comfort model, oftewel met inputdata voor Nederlandse bewoners en woningen.

Resterende onderzoeksvragen zijn dan nog:

- Wat vinden mensen (nog) een acceptabele binnentemperatuur en wanneer is er sprake van oververhitting? Vanaf welke temperatuur doen negatieve gevolgen zich voor?
- Welke factoren spelen hierbij een rol? (bijvoorbeeld: leeftijd, ziekte en uitvoeren van een bepaalde activiteit)
- Wat is het verloop van de koelbehoefte? Wanneer mensen aan hitte en passen ze zich aan bij langdurige hitte?
- Hoe worden de ruimtes in huis gebruikt (denk ook aan thuiswerken)? In welke ruimtes is een koudevraag?
- RVO en BZK hebben nu ook de Renovatieverkenner uitgezet; een digitaal platform voor woningeigenaren en woningcorporaties waarbij de effecten van renovaties op verschillende indicatoren worden berekend en kunnen worden geoptimaliseerd, waaronder comfort. Daarbij komt ook de vraag boven: wat is (zomer)comfort?



### 2.2.3 Acties

Wij adviseren om de komende jaren tijdens de zomer onderzoek te doen naar wat een acceptabele binnentemperatuur is, waar en wanneer de koelbehoefte zich voordoet en in hoeverre mensen wennen aan de hitte. Idealiter wordt samen opgepakt met verwijzingen naar vragenlijsten en metingen onder andere hoofdstukken.

Na afloop van het RAAK onderzoek (Heller et al., 2021) zou het nuttig zijn om te evalueren wat er aan informatie is opgehaald en wat er nog ontbreekt en op basis hiervan een vervolgonderzoek te ontwerpen.

Nb. Het CBS onderzoek 'Belevingen' heeft in 2023 weer het thema klimaat- en energietransitie waar dat jaar ook een aantal vragen zal worden opgenomen over hittestress en de behoefte aan koeling.

Het is nog onduidelijk of er in 2024 weer een WoON onderzoek komt met/of zonder energiemodule. WoON gaat namelijk geleidelijk over naar Woonbase<sup>4</sup>.

## 2.3 Hoe is de relatie tussen lokale buitentemperatuur en binnentemperatuur?

### 2.3.1 Huidige kennis

Er bestaat een aantal dynamische rekenmodellen om het thermisch gedrag en de energieprestatie van individuele woningen en gebouwen te simuleren, inclusief parameters die het binnenklimaat bepalen (temperatuur, luchtvochtigheid) en het cumulatieve effect van opwarming: TRNSYS, IDA-Indoor Climate Energy (IDA-ICE), BSim, Energy Plus, Modelica/Dymola, VABI Elements en DYWAG (DGMR) om er een paar te noemen. Deze tools hebben elk hun voor- en nadelen en specifieke detail-functionaliteit (Vadiee et al, 2018; Magni et al. 2021).

In het NKWK project 'Hitte in de woning' (2022) is voor de simulatiestudie van twee gebouwtypen (doorzonwoning en portiekflat) gebruik gemaakt van VABI Elements. In de simulatiesoftware is uurlijks de warmtebalans opgemaakt. Enkele zaken die mee worden genomen in deze uurlijkse balans zijn: warmteafgifte van de mensen / apparatuur, zoninstraling door de ramen, warmtetransport door de wanden en ramen, luchtuitwisseling met buiten door ventilatie, infiltratie en te openen ramen. De gebouwsimulatie is van het type "dynamische simulatie". Dit houdt in dat er niet uurlijks een statische berekening wordt gemaakt, maar dat het effect van het langzaam opwarmen van zware constructies die later weer de warmte afgeven ook wordt meegenomen. Ook het Urban Heat Island (UHI) effect is hierbij meegenomen, waarbij niet alleen de buitentemperatuur op een gegeven moment van belang is, maar ook die van de afgelopen uren/dagen.

Het PBL heeft het Vesta MAIS ontwikkeld waar voor woningen wordt uitgegaan van een koudevraag per m<sup>2</sup> (3,6 kWh/m<sup>2</sup> vloeroppervlak) per jaar gebaseerd op getallen van W/E adviseurs. De koudevraag van W/E is gebaseerd op de EPG berekeningen en gebaseerd op het jaargebruik en neemt pieken niet mee. Het model berekent vervolgens per woning de functionele koudevraag op basis van woningkenmerken en de buitentemperatuur op regionaal niveau.

W/E heeft voor alle woningen uit WoON2018 met de NTA validatietool de gemiddelde koudevraag per woning (of per m<sup>2</sup>) doorgerekend voor de extremere klimaten uit NEN 5060 met spreiding naar woningtype, woninggrootte, bouwjaarklasse en isolatiewaarde. Aspecten

---

<sup>4</sup> Dit is een jaarlijks databestand gebaseerd op integrale registerdata, en daar waar nodig aangevuld met enquêtes voor gegevens die niet uit registers beschikbaar is.

als zonwering en overstekken zijn niet opgenomen in WoON2018 en konden daarom niet worden meegenomen. De berekening geeft daarmee een eerste indicatie van de koudevraag.

TNO is bezig met de ontwikkelingen van het warmtevraagprofielenmodel (WPG), een fysisch, dynamisch warmtebalansmodel op uurbasis dat ontwikkeld is om buurten in Nederland mee door te rekenen, maar ook gebruikt kan worden voor individuele RVO voorbeeldwoningen. Er is een functionaliteit aan het model toegevoegd waarmee de koudevraagprofielen voor individuele woningen en hogere schaalniveaus te berekenen zijn en waarin klimaatscenario's kunnen worden meegenomen. De klimaatscenario's van het KNMI zijn door TNO vertaald naar uurprofielen voor het weer in 2030 en 2050. De functionaliteit voor koude moet nog gevalideerd worden.

De partijen in het platform Overleg Standaarden Klimaatadaptatie (OSKA) hebben een intentieverklaring getekend om de toenemende behoefte aan koeling mee te nemen in standaarden voor het ontwerp van gebouwen (OSKA, 2021). Daarbij benadrukken ze dat er ook aandacht moet zijn voor de rol van de bewoner en voor de omgeving waar het gebouw in staat. Ze hebben ook verkend in hoeverre bestaande standaarden rekening houden met klimaatverandering en de behoefte aan koeling (OSKA, 2019).

De buitentemperatuur is ook aan verandering onderhevig. Er wordt veel onderzoek gedaan naar klimaatverandering en de effecten daarvan voor Nederland. Vanwege de vele onzekerheden wordt gewerkt met scenario's. Het KNMI ontwikkelt periodiek klimaatscenario's voor Nederland. De laatste klimaatscenario's van het KNMI dateren uit 2014 (KNMI, 2014). De volgende versie van de klimaatscenario's van het KNMI wordt verwacht in 2023. De KNMI-scenario's geven een beeld van het toekomstige klimaat in Nederland als gevolg van twee mondiale emissie-scenario's. Hieruit blijkt dat de temperatuur stijgt tussen de 1.4°C en 3.8°C in 2085. Naast de gemiddelde temperatuurstijging is voor de koudevraag ook het aantal warme dagen en nachten van belang. Het aantal tropische dagen is al verdubbeld in de afgelopen 2 klimaatperiodes (1961 – 1990 en 1991 – 2020; KNMI (2021)) en kan tot 2050 nog met een factor 2,5 toenemen (KNMI (2014)); zie ook Figuur 2. De scenario's van het KNMI zijn echter niet geschikt om door te rekenen in de dynamische modellen voor de koudevraag omdat ze geen uurlijkse waarden, maar alleen daggemiddelden bevatten. De koelvraag is ook afhankelijk van de plek in Nederland, zie onderstaande Tabel 3.

Tabel 2: Spreiding in koelgraaddagen binnen Nederland (bron: KNMI data, verwerkt door KWA bedrijfsadviseurs, [www.kwa.nl](http://www.kwa.nl); grenswaarde voor koeling is daggemiddelde temperatuur van 18 °C)

| KNMI station       | Koelgraaddagen 2021 | Koelgraaddagen Gemiddelde 2011-2020 | Koelgraaddagen Gemiddelde 1970 – 2020 |
|--------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| De Bilt            | 59,4                | 108,4                               | 79,5                                  |
| Vlissingen         | 56,9                | 104,0                               | 68,5                                  |
| Den Helder/De Kooy | 25,9                | 69,7                                | 43,4                                  |
| Eelde              | 43,7                | 83,5                                | 56,7                                  |
| Twente             | 83,6                | 124,8                               | 79,0                                  |
| Maastricht         | 98,4                | 163,7                               | 109,9                                 |

De NEN5060<sup>5</sup> is in deze context ook van toepassing, deze beschrijft namelijk de referentieklimaatgegevens voor de bepaling van de energieprestatie van gebouwen. Daarin zijn ook extremere klimaten opgenomen die W/E heeft gebruikt om berekeningen te doen.

<sup>5</sup> <https://www.nen.nl/nen-5060-2018-a1-2021-nl-280196>

### 2.3.2 Kennishiaten

Bestaande dynamische modellen zijn (zeer) uitgebreide modellen die in principe de koeling goed kunnen berekenen. De benodigde invoer (de factoren die de binnentemperatuur beïnvloeden) is veelal lastig te bepalen en tijdrovend voor bestaande woningen. Bovendien zijn praktijkvalidaties beperkt beschikbaar. Er is dus behoefte aan geschikte gevalideerde modellen, waarmee een groot aantal bestaande woningen met een beperkte tijdsinspanning gesimuleerd kan worden.

- Ontbrekende koppeling van verschillende modellen/aspecten: gebouwfysica, inrichting van de buitenruimte en het directe (schaduw) en indirecte (bijvoorbeeld UHI) effect op de binnentemperatuur, bewonersgedrag en klimaatscenario's
- Validatie van de modellen in de praktijk
- Tijdseries van uurdata van meteorologische variabelen voor koudevraag onder klimaatverandering zijn nog niet beschikbaar. Hierdoor kan de dagvariatie (pieken en nachtventilatie) op extreem hete dagen of bijvoorbeeld jaargemiddelden nog niet worden meegenomen in dynamische modellen.
- Zonering van de woning. Bewoners zullen, eerder dan bij verwarming, specifieke ruimtes koelen.
- Verdeling van interne warmteafgifte (door apparatuur) over de ruimtes van de woning.

### 2.3.3 Acties

Voor de validatie van modellen moeten een aantal zomers lang metingen in de praktijk worden gedaan bij representatieve woningen van onder andere de binnentemperatuur in relatie tot de buitentemperatuur en woningkenmerken<sup>6</sup>. Hier lopen al een aantal initiatieven voor:

- Het RAAK project (Heller et al. 2021) waar in de zomer van 2022 metingen in corporatiewoningen worden verricht die resultaten vergelijken met NTA- en dynamische berekeningen. Het is onduidelijk of bij deze metingen ook de lokale weersituatie buiten de woning wordt gemeten (temperatuur, zoninstraling, eventueel wind).
- De Opschaler dataset bevat gedetailleerde informatie in 96 woningen over het binnenklimaat (T, RH, CO<sub>2</sub>) in meerdere kamers per woning, gasverbruik, elektriciteitsverbruik en comfortbeleving (Itard, 2016; Ioannou, 2018; Petropoulou, 2021). De meetperiode besloeg 1 jaar met variabele startdatum tussen maart en juni 2017; de zomer van 2017 was warmer dan het klimaatgemiddelde, maar lang niet zo warm als 2018 en 2019 (obv het aantal koeldagen). Een deel van deze woningen heeft een warmtepomp. Deze dataset is niet specifiek ontwikkeld om oververhitting en het gebruik van koelsystemen te onderzoeken, maar kan mogelijk wel als validatie-data gebruikt worden.
- Verder zou de aanpak van het WarmingUP project 2A over Verlaagde aanvoertemperatuur ('How low can you go?') ook toegepast kunnen worden voor oververhitting in de zomer. In dit project zijn fit-for-purpose dynamische modellen gemaakt voor de warmtevraag van woningen. Deze modellering is succesvol gevalideerd voor de voorspelling van de binnentemperatuur in 200 woningen tijdens het winterseizoen met minimale invloed van de zon-instraling. Dit meetproject wordt verlengd, waarmee ook aanvullende data over opwarming van woningen beschikbaar komt.
- Een andere optie is om slimme meters uit te lezen die zowel de binnen- als de buitentemperatuur bijhouden en deze informatie koppelen aan woning- en huishoudkenmerken. De Installatiemonitor is een project, waarin slimme meter data is verzameld om inzicht te verkrijgen in de praktijkprestaties van (hybride) warmtepompen (Hommelberg, et al.,2022). De focus van dit project lag op de

---

<sup>6</sup> Deze actie heeft een relatie met 4.2.3, 4.2.4 en 6.2.3

netbelasting van warmtepompen. Daarom is er minimaal aandacht besteed aan WP-inzet voor koeling.

Er moet worden bepaald of deze initiatieven voldoende basis bieden voor een validatie of dat er additionele acties nodig zijn.

Verder is het noodzakelijk om tijdseries van uurdata te genereren van voor de koudevraag relevante meteorologische variabelen onder klimaatverandering na verschijning van nieuwe voorspellingen KNMI 2023.

# 3 Energievraag voor koeling

## 3.1 Kennisvragen

### Hoofdvraag

Wat is de huidige en toekomstige energievraag voor koeling in woningen en gebouwen ?

Het energiegebruik van een koelsysteem is afhankelijk van een aantal elementen:

- De koudevraag
- Of er een koelsysteem aanwezig is
- De technische specificaties van het koelsysteem
- Het koelgedrag door de bewoners/gebruikers

### Subvragen

De koudevraag is behandeld in hoofdstuk 3, waardoor er een aantal subvragen voor hoofdstuk 4 over blijft:

- In hoeverre wordt de koudevraag ingevuld wordt met actieve koelsystemen zoals airco's, bodemwarmtepompen of koudelevering uit een koudenet?
- Wat is de verwachte ontwikkeling in toepassing van actieve koelsystemen?
- Wat is het energiegebruik van diverse koelsystemen?
- Hoe worden koelsystemen gebruikt door bewoners?

## 3.2 In hoeverre wordt de koudevraag ingevuld wordt met actieve koelsystemen?

### 3.2.1 Huidige kennis

Het CBS verzamelt voor de hernieuwbare energiestatistiek cijfers over het aantal warmtepompen in woningen. In 2020 zijn er in totaal 380.800 lucht-lucht warmtepompen geïnstalleerd, dat is 5% van de bewoonde woningen. Een lucht-lucht warmtepomp is een airco die vooral voor koeling wordt geïnstalleerd maar ook voor verwarming kan worden gebruikt. Dat aantal is de laatste jaren sterk toegenomen. Ook in het Verenigd Koninkrijk zijn berichten dat de verkoop van airco's 'booming' is<sup>7</sup>.

De cijfers baseert het CBS op basis van de informatie die zij ontvangen van Vereniging Warmtepompen (60% van de gegevens) en een enquête onder de leveranciers die geen lid zijn van de branchevereniging (40% van de gegevens) (CBS StatLine, 2020). De Vereniging Warmtepompen rapporteert echter geen mobiele airco's, in de vragenlijst van CBS is geen expliciet onderscheid gemaakt naar vaste en mobiele airco's. Bij het CBS ligt de focus momenteel ook op verwarming en mobiele airco's kunnen alleen koelen. Er komt wellicht wel een additioneel onderzoek aan; voor de EU richtlijn hernieuwbare energie moet data worden verzameld voor hernieuwbare koude (gedefinieerd als efficiënte airco's)<sup>8</sup>. Er zullen dan data moeten komen over de opgestelde capaciteit van airco's, uitgesplitst naar klasse van efficiency.

---

<sup>7</sup> <https://www.theguardian.com/environment/2022/jun/23/heatwaves-pushing-up-demand-for-air-conditioning-in-uk>

<sup>8</sup> Er is momenteel geen zicht op het aantal woningen dat toegang heeft tot koeling, laat staan toekomstprojecties hierover (Ramboll, 2022)



Uit vragenlijsten blijkt dat zo'n 16%-20% van de huishoudens momenteel een airco heeft (Memo2 2020, Tauw 2021, TNO 2021, MilieuCentraal 20219, Jaga). Het merendeel betreft een mobiele airco (55-70%). Daarnaast heeft nog zo'n 2% een andere vorm van koeling, zoals een bodemwarmtepomp.

Inkomen, woonlocatie en woningtype hebben een sterke invloed hebben op het aanwezig zijn van een koelsysteem (TNO 2021). Bij respondenten met een hoger inkomen is vaker een koelsysteem aanwezig. Respondenten met een twee-onder-één kap woning en respondenten met een vrijstaande woning zijn vaker in het bezit van een koelsysteem dan de respondenten die wonen in een rijtjeshuis of appartement. In de provincies Friesland, Groningen en Drenthe en de provincies Limburg, Noord-Brabant en Zeeland is vrijwel een op de vier respondenten in het bezit van een koelsysteem. In Amsterdam, Den Haag en Rotterdam ligt het bezit van koelssystemen het laagst.

De meeste respondenten met een koelsysteem geven als reden voor de aanschaf op dat zij daarmee goed willen kunnen slapen. Redenen die vaker terugkomen onder de uitleg bij 'Anders' zijn dat mensen koeling willen om thuis te kunnen studeren en werken, om medische redenen en voor de huisdieren.



Ook het feit dat alle auto's nu uitgerust zijn met een airco maakt dat mensen gewend raken aan een airco en zich afvragen waarom ze het huis ook niet op een comfortabele temperatuur kunnen houden.

Er kunnen ook andere redenen spelen bij de aanschaf van airco's, in India is het bijvoorbeeld een teken van welvaart. Verder werkt een airco ook goed in het verjagen van muggen, verbetert de luchtkwaliteit (die verslechterd als het warmer wordt) en het geluid van de airco kan storend geluid van buiten de woning neutraliseren.

In Europese doelen voor het aandeel hernieuwbaar mag ook duurzame koude worden meegenomen. Voor CBS is dat aanleiding om koude mee te gaan nemen in de hernieuwbare energie statistiek. Daarvoor moeten in Europees verband nog wel definities van hernieuwbare koude worden afgesproken.

<sup>9</sup> <https://www.milieucentraal.nl/persberichten/zomer-komt-eraan-1-op-5-heeft-airco/>

### 3.2.2 Kennishiaten

Het is het afgelopen jaar duidelijk geworden dat meer huishoudens al een airco hebben dan werd gedacht. De cijfers voor 2021 variëren nog tussen de 16-20% van de huishoudens. Dit zou nog beter in kaart kunnen worden gebracht en moet jaarlijks geüpdatet worden vanwege de snelle stijging.

Wanneer huishoudens een airco aanschaffen is één van de meest cruciale onderzoeksvragen, want zodra huishoudens er één hebben gaat het een effect hebben op het energiegebruik. Het ene onderzoek van TNO in 2021 naar de redenen voor de aanschaf van airco's geeft nog niet voldoende onderbouwing om conclusies te trekken. Resterende onderzoeksvragen zijn daarom:

- Hoeveel airco's zijn er in Nederland geïnstalleerd in woningen (aantal per woning)?
- Hoeveel woningen worden op een andere manier actief gekoeld (bijvoorbeeld middels bodemkoeling en koudnetten)?
- Wanneer schaffen mensen een airco aan? Welke drijfveren zijn er?
  - Kan de aanschaf van PV en het afschaffen van de salderingsregeling juist leiden tot de aanschaf van airco's (ihkv 'je moet toch iets met die energie?')

### 3.2.3 Acties

- Contact met CBS over mogelijkheden voor monitoring van airco's, zij richten zich nu alleen op vast airco's (lucht-lucht warmtepompen) en kijken niet naar mobiele airco's
- Contact met CBS over informatie over WKO's en koudnetten, anders ITHO of Eteck
- Contact met branche-organisaties (NVKL, Vereniging Warmtepompen) of bedrijven (zoals Coolblue, Daiken) over verkoopcijfers (waaronder mobiele airco's) en kennis over wanneer mensen een airco aanschaffen
- Mogelijkheid bekijken om de kosten-batenanalyse in het Hestia model van PBL te gebruiken om een schatting te doen van de investeringsbeslissingen die mensen maken voor installaties zoals airco's.
- In de eerder genoemde vragenlijsten vragen opnemen over de aanschaf van airco's

## 3.3 Wat is de verwachte ontwikkeling in toepassing van actieve koelsystemen?

### 3.3.1 Huidige kennis

In het Memo<sup>2</sup> onderzoek geeft 15% van de respondenten aan de aanschaf van een airco te overwegen en ruim de helft van de respondenten heeft geen interesse in een airco. In de TNO enquête overweegt 26% de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen. In het onderzoek van Jaga geeft 56% aan het fijn te vinden als de woning ook gekoeld kan worden.

De TU/e schat in dat gezien het feit dat zelfs goed voorbereide en geïnformeerde huishoudens er in hun studie er tijdens de 2020 hittegolf niet in slaagden om hun binnentemperatuur op een comfortabel niveau te houden, het waarschijnlijk lijkt dat actieve koeling zich de komende jaren verder zal verspreiden.

Redenen die respondenten in de TNO enquête (2021) opgaven om de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen waren de toename in het aantal warme dagen (60%), een woning die vaak te warm wordt (48%), de betaalbaarheid van de koelinstallatie (36%) of/en het vaker thuis zijn (29%).

De meeste mensen die de komende jaren niet overwegen om een koelsysteem aan te schaffen geven daarvoor als reden de aanschaf- (45%) en/of energiekosten (42%). Bij 23% van de

respondenten is de woning koel genoeg en/of kan opwarming voorkomen worden door het nemen van maatregelen (29%) (Memo2 en TNO). Als we vragen wanneer mensen wél een koelinstallatie zouden overwegen dan is de belangrijkste reden wanneer het vaker te warm wordt in de woning (36%). Andere genoemde redenen zijn wanneer de kosten van het koelsysteem dalen, wanneer het aantal warme dagen in het jaar toeneemt en wanneer de installatie minder energie zou gebruiken. 27% van de respondenten geeft aan ze nog steeds geen koelsysteem zouden aanschaffen. De belangrijkste reden die onder 'Anders' wordt vermeld is als de verhuurder het zou plaatsen of als het zou mogen van de woningcorporatie of de VvE.

### 3.3.2 Kennishiaten

Het percentage dat aangeeft een koelsysteem te willen aanschaffen verschilt sterk tussen de drie enquêtes. De enquête van TNO heeft redenen voor aanschaf onderzocht, maar het blijft een eenmalige enquête onder 1200 respondenten uitgevoerd en biedt nog geen betrouwbaar beeld. Kennisvragen zijn daarom:

- Welke toename in de aanschaf van airco's kunnen we verwachten?
- Welke factoren spelen een rol in de (toekomstige) aanschaf van airco's? (zie ook 3.2)
- In hoeverre worden andere koelsystemen gebruikt (bijvoorbeeld bodemkoeling en koudnetten)?

### 3.3.3 Acties

- Vragen opnemen in de eerder genoemde vragenlijsten over koelbehoeftes wanneer mensen een airco aanschaffen

## 3.4 Wat is het energiegebruik van diverse koelsystemen?

### 3.4.1 Huidige kennis

Diverse bronnen doen aannames over het energiegebruik van airconditioners op basis van een literatuurstudie (W/E) of op basis van aannames over de efficiëntie en de gebruiksduur (TNO). TNO heeft ook de Technology Factsheets van diverse energietechnologieën waaronder de efficiëntie.

Tabel 3 Aannames uit verschillende bronnen over het energiegebruik van airconditioners (kWh/jaar)

|                               | Vaste airco | Mobiele airco | Airco (ongedefinieerd) |
|-------------------------------|-------------|---------------|------------------------|
| EVA (o.b.v. VHK en Ecodesign) |             | 64            |                        |
| SAWEC (o.b.v. VHK en CBS)     | 608         |               |                        |
| W/E: gemiddeld uit literatuur |             |               | 400                    |
| W/E: EPG berekening nieuwbouw |             |               | 150                    |
| <b>Consumentenbond</b>        | 234         |               |                        |

Om inzicht te krijgen in de prestaties van warmtepompsystemen is de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) gestart met een monitoringstraject onder Nederlandse huishoudens (Friedel et al. 2021). Voor dit onderzoek gebruiken zij uitsluitend gegevens van de slimme meter (elektriciteit en eventueel aardgas). De dataset bevat echter niet voldoende informatie om aan te kunnen geven welke woningen met zekerheid koeling gebruiken, welke apparatuur hiervoor gebruikt wordt, en hoe deze apparatuur aangestuurd wordt. Ook de efficiency van de koelsystemen is niet te bepalen. Het onderzoek geeft daarom de aanbeveling om een specifiek meettraject op te zetten voor koeling, waarbij meer data verzameld moet worden per woning. Hiermee is dan een specifiek beeld te krijgen van de prestaties en netimpact van koelinstallaties.

Een belangrijk aspect in de efficiëntie van een warmtepomp, naast de temperatuur, is de luchtvochtigheid. Dezelfde warmtepomp in Zuid-Europa heeft daarom bijvoorbeeld een andere efficiëntie in Noord-Europa.

Naar aanleiding van recente interviews met experts op het gebied van warmtepompen blijkt dat we weinig rendementsverbetering meer kunnen verwachten voor de nu gangbare warmtepompen, wellicht nog 5-10% verbetering (Rovers, 2022). Er zijn ook hele nieuwe typen warmtepompen in ontwikkeling, zoals de thermo-akoestische en magneto-calorische warmtepomp, maar de efficiëntie daarvan is nog niet bekend. Belangrijke rendementsverbeteringen kunnen verder nog worden gehaald door gebruiks- en installatievriendelijkere systemen en verbeterde ervaring met warmtepompen bij installateurs en ontwerpers. Een beter ingeregeld afgiftesysteem en een bewoner die goed met de karakteristieken van de warmtepomp kan omgaan kunnen voor veel winst zorgen ten aanzien van de prestatie van de warmtepomp.

Wat betreft koudenetten geeft W/E aan dat exploitanten van koudenetten een koudevraag van 1 tot 2 GJ per woning per jaar rapporteren (W/E, 2018). Dat correspondeert met 280 tot 560 kWh koude per jaar. Bij de exploitatie van WKO-systemen blijkt de koudevraag in goed geïsoleerde woningen ongeveer gelijk aan 70% van de warmtevraag.

### 3.4.2 Kennishiaten

Voor zover bij ons bekend zijn er nog geen metingen gedaan naar het energiegebruik van koelsystemen in woningen. Vooralsnog worden daarom in berekeningen aannames gedaan over het energiegebruik. In aanvulling op het aantal woningen met een airco of een aansluiting op bodembron of koudenet in 3.2 zijn de resterende kennisvragen:

- Additionele informatie van de geïnstalleerde airco's:
  - welk type/technische specificaties
  - welk vermogen
  - energieprestatie
- Energiegebruik van systemen met een bodembron en koudenetten voor koeling.
- In hoeverre kunnen koelsystemen de koeling leveren die wordt gevraagd? Kunnen mobiele airco's en collectieve systemen de hittepieken aan? In hoeverre is dit afhankelijk van de gebouweigenschappen?

### 3.4.3 Acties

- Een aantal zomers lang metingen in de praktijk doen van het energiegebruik van airco's. Deze actie kan het beste samen worden opgepakt met de validatiemetingen van de binnentemperatuur onder 3.2.2.
  - Een andere optie is om contact te zoeken met leveranciers van airconditioners, bijvoorbeeld Itho, om de mogelijkheden te bespreken voor het doen van metingen.
- Contact met CBS over informatie van energiegebruik van WKO's en koudenetten, anders bij ITHO of Eteck navragen.
- Effecten van Ecodesign richtlijnen in kaart brengen in de ontwikkeling van airco's. (de Ecodesign Richtlijn stelt minimumvereisten met betrekking tot energie-efficiëntie aan verwarmingstoestellen en airconditioners.)
- Contact zoeken met Roberto Traversari (TNO) die veel onderzoek doet naar het energiegebruik van airco's en efficiencies.

## 3.5 Hoe worden koelsystemen gebruikt door bewoners?

### 3.5.1 Huidige kennis

Het WoON onderzoek uit 2018 heeft de respondenten met een airco gevraagd hoe zij deze gebruiken. Ruim 70% geeft aan dat zij de airco alleen aan zetten als het binnen te warm is, tegen 6% die de airco ook aanzet als het binnen nog niet zo warm is. 1% heeft de airco bijna altijd aan staan in de zomer tegenover 19% die de airco bijna nooit aan heeft staan.

Uit de enquête van TNO in 2021 komt dat het merendeel van de respondenten het koelsysteem aan zet als de binnentemperatuur boven de 25 °C komt (Rovers et al., 2021). De woonkamer wordt door bijna de helft van de respondenten gekoeld, maar respondenten uit de laagste inkomensklasse koelen de woonkamer bijna twee keer zo vaak als gemiddeld. De hoofdslaapkamer wordt gemiddeld door driekwart van respondenten gekoeld, maar alleenwonenden koelen de slaapkamer significant minder dan gemiddeld.

De meeste respondenten die de temperatuur van het koelsysteem in kunnen stellen doen dat meestal op dezelfde temperatuur; overdag gemiddeld op 20,3 °C, 's avonds op 20,0°C, en 's nachts op 19,7 °C. De respondenten met een mobiele airco koelen op een gemiddelde temperatuur van 19,4 °C, ongeveer gelijk met een gemiddelde temperatuur van 19,5 °C voor bodemwarmtepompen. Respondenten met een vaste airco zetten gemiddeld de temperatuur wat hoger op 20,8 °C. Er moet nog onderzocht worden of dit ook betekent dat de kamertemperatuur rond de 20-21 °C ligt, of dat de airco de ingestelde temperatuur niet haalt. Onderzoek in India laat ook zien dat 60% van de mensen de airco op 20-21 graden instelt (waar 25-27 graden optimaal zou zijn) (Kaur et al., 2022).

De meeste mensen zetten in 2021 het koelsysteem voor het eerst aan in de maand juni. Respondenten met een mobiele airco gebruikten deze in de maanden juni tot en met september gemiddeld 16,4 dagen. Er zitten wat uitschieters bij, maar 50% van de mobiele airco's stond niet meer dan 10 dagen aan in 2021 en 90% niet meer dan 30 dagen. De vaste airco werd met gemiddeld 24,4 dagen vaker gebruikt dan de mobiele airco waarbij 70% van vaste airco's niet meer dan 20 dagen werd gebruikt. Bij respondenten met een bodemwarmtepomp gaf 75% aan dat deze altijd aanstaat. Het aantal dagen dat de respondenten het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door de gezinssamenstelling, de woonsituatie, het bouwjaar en de omgeving.

Tot slot wordt het koelsysteem gemiddeld 6 uur per dag gebruikt. Het aantal uren dat de respondenten gemiddeld het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door het inkomen, het woningtype en de voorgevel oriëntatie. Op basis van deze antwoorden kan worden afgeleid dat een mobiele airco gemiddeld 98,4 uur heeft aangestaan in 2021 en de vaste airco 146,4 uur. Dat is ongeveer de helft van wat in de KEV (respectievelijk 184 en 320 uur) wordt aangenomen. Dit kan komen door de relatief koele zomer in 2021 (Tabel 2); deze tabel laat ook de grote regionale spreiding zien in de koelgraaddagen.

Bij gesprekken op een internationale conferentie bleek dat in Amerika mensen begonnen met het koelen van één ruimte in de woning en men dacht dat het daarbij zou blijven, maar dit nam snel toe naar andere ruimtes en nu is het gebruikelijk dat de hele woning wordt gekoeld. Andere aspecten die hierin meespeelden is de vergrijzing en het feit dat steden steeds warmer werden.

### 3.5.2 Kennishiaten

Inzichten uit de TNO-vragenlijst over koelgedrag zijn gebaseerd op een eenmalige peiling. Het weer van 2021 is bijvoorbeeld van invloed op de antwoorden van een aantal vragen. Ook is bij de verdeling van de populatie in meerdere subcategorieën het aantal cases soms erg klein om er conclusies over te trekken. Resterende kennisvragen zijn:

- Hoe gebruiken mensen het koelsysteem? Oa:
  - Wanneer zetten ze het systeem aan? Waar is dit van afhankelijk?
  - In welke ruimtes gebruiken mensen koeling?
  - Op welke temperatuur stellen ze de airco in en waar is dit van afhankelijk? Zijn deze factoren dynamisch? Is het bijvoorbeeld afhankelijk van de temperatuur op dat moment of ook van de temperatuur van de afgelopen uren en zelfs dagen? Wordt de ingestelde temperatuur ook effectief bereikt?

### **3.5.3 Acties**

Wij adviseren om de komende jaren tijdens de zomer onderzoek te doen naar hoe mensen het koelsysteem gebruiken in relatie tot de buiten- en binnentemperatuur. Idealiter wordt dit samen opgepakt met de eerder genoemde vragenlijsten en praktijkmetingen.

## 4 Externe ontwikkelingen

Naar verwachting neemt de koudevraag in de toekomst steeds meer toe, voornamelijk als gevolg van de klimaatverandering. Maar ook ontwikkelingen in de demografie (verstedelijking vergrijzing), economie (thuiswerken), ontwikkelingen in de woning- en bouwvoorraad en in de buitenruimte zijn van invloed op de koudevraag van de toekomst. Om een inschatting te kunnen maken van de toekomstige koudevraag moeten we inzicht krijgen in hoe deze factoren zich in de toekomst gaan ontwikkelen. Aangezien deze langetermijn ontwikkelingen erg onzeker zijn, is het nodig om met verschillende scenario's rekening te houden.

### 4.1 Kennisvragen

De hoofdvraag die in dit onderdeel van de Kennisagenda centraal staat is:

- *Welke externe ontwikkelingen beïnvloeden de koudevraag in de toekomst en in welke mate?*

Er zijn verschillende type ontwikkelingen nu al gaande en die in toenemende mate effect zullen hebben op de koudevraag van de toekomst. Ten eerste zal de koudevraag toenemen als het warmer wordt door klimaatverandering. Op deze ontwikkeling heeft Nederland weinig invloed en wordt daarom beschouwd als externe ontwikkeling waarop we ons moeten aanpassen. Ten tweede zijn bredere maatschappelijke ontwikkelingen, zoals demografie en economie, waarop de energiesector ook weinig invloed op heeft. Tot derde zijn dat ontwikkelingen in ruimtegebruik en inrichting. Ook dat is extern omdat de energiesector daar niet op kan sturen.

Dit leidt tot de volgende vier subvragen:

- Wat is de toename van de lokale buitentemperatuur als gevolg van het stedelijk hitte-eilandeffect?
- Welke toekomstige ontwikkelingen zijn te verwachten met betrekking tot de maatschappelijke factoren die relevant zijn voor de koudevraag?
- Hoe ontwikkelt de woning- en bouwvoorraad zich en in hoe wordt bebouwd gebied in de toekomst ingericht?
- Hoe gaan we om met onzekerheden?

### 4.2 Wat is de toename van de buitentemperatuur als gevolg van klimaatverandering en het stedelijk hitte-eilandeffect?

#### 4.2.1 Huidige kennis

In het KNMI Klimaatsignaal dat in 2021 is verschenen, zijn nu ook schattingen gemaakt van het hitte-eilandeffect op basis van een beperkt aantal meetgegevens en een model benadering. Dit kan nu al leiden tot een temperatuurstijging van 7°C in stedelijke gebieden (de Nijs, 2019, p. 20). In andere onderzoeken naar het UHI-effect (Urban Heat Island) wordt satellietdata over verharding gekoppeld aan temperatuurgegevens. Hittestress zal in steden twee keer zoveel toenemen als in rurale gebieden (Wouters, 2017). Omdat er meer aandacht is voor hittestress in stedelijke gebieden, is de kennis over hittestress in rurale gebieden zeer beperkt. Op [www.klimaateffectatlas.nl](http://www.klimaateffectatlas.nl) zijn ruimtelijk kaarten beschikbaar gemaakt die laten zien waar de hittestress kan optreden. Deze hittestress-kaarten zijn gebaseerd op een RIVM rapport "Standaard stresstest hitte" (Nijs et al, 2019). In de nabije toekomst worden ook hittenachtkaarten toegevoegd, wat relevant is voor de nachtrust en nachtventilatie.



In het NKWK project 'Hitte in de woning' in 2022 heeft Arcadis gebouwsimulaties uitgevoerd voor oververhitting waarbij het UHI-effect is meegenomen dat de Hogeschool van Amsterdam heeft berekend.

#### 4.2.2 Kennishiaten

Er is best al wat kennis aanwezig over de mogelijke temperatuurstijging in de toekomst. Hierbij wordt ook al rekening gehouden met pieken (aantal zomerse dagen, hittegolven) en hitte-eilandeffecten. Voor ruraal gebied en nachttemperaturen is tot op heden minder aandacht geweest. De kennisbasis is echter nog steeds smal en er is meer onderzoek nodig om betrouwbaardere inschattingen te maken.

De belangrijkste kennishiaten op dit onderdeel zijn:

- Mondiale klimaatvoorspellingen worden continu bijgesteld. Het bepalen van het effect van deze mondiale klimaatvoorspellingen op nationaal niveau en doorwerking naar het lokale klimaat in de stad (UHI) heeft nog maar beperkt plaatsgevonden en blijft bij beschikbaar komen van nieuwe voorspellingen een continu kennishiaat.
- Validatie van Urban Heat Island modellen, op basis van meteorologische meetgegevens in stedelijke gebieden heeft nog maar beperkt plaatsgevonden. Nader onderzoek en extra meetgegevens zijn nodig voor een betrouwbaardere bepaling van het hitte-eilandeffect.
- Tijdsreeksen van uurdatta van voor de koudevraag relevante meteorologische variabelen zijn voor de stad (op verschillende type locaties) beperkt beschikbaar

#### 4.2.3 Acties

- Validatie van Urban Heat Island modellen tijdens warme periodes en hittegolven, op basis van meteorologische meetdata (temperatuur, wind, zoninstraling, luchtvochtigheid). Bij de HvA en de WUR komen steeds meer meetgegevens beschikbaar.

### 4.3 Welke toekomstige ontwikkelingen zijn te verwachten met betrekking tot maatschappelijke factoren die relevant zijn voor de koudevraag?

#### 4.3.1 Huidige kennis

Een belangrijke maatschappelijke factor voor de toekomstige koudevraag is de toename van de bevolkingsomvang en huizenvoorraad. Volgens de CBS-bevolkingsprognose groeit de bevolking de komende dertig jaar met bijna twee miljoen inwoners, van 17,4 miljoen nu naar 19,3 miljoen in 2050. Dit kan tot een aanzienlijke extra koudevraag leiden.

De Welvaart en Leefomgeving-scenario's (WLO-scenario's) van het PBL laten zien waar deze groei vooral plaatsvindt. In de meeste scenario's vindt deze groei vooral plaats aan de rand van stedelijke kernen. Aan de randen kunnen nieuwe hitte-eilanden ontstaan en in de kernen kan het hitte-eiland effect versterkt worden. Afhankelijk van het ruimtelijk orderingsbeleid hebben de scenario's meer bundeling van woongebieden of meer gespreid wonen. In dat laatste geval is de bevolkingsdichtheid kleiner en liggen bijvoorbeeld individuele koelsystemen meer voor de hand dan collectieve bodemenergiesystemen (wko's).

De ontwikkeling van het aantal woningen naar de toekomst toe wordt door ABf in opdracht van BZK bepaald in syswov ([Databanken - Datawonen](#)). Voor de ontwikkeling van utiliteitsgebouwen hebben PBL en TNO in de Klimaat- en energieverkenning met een eigen methode scenario's ontwikkeld afhankelijk van economische en demografische ontwikkelingen.

Ook veranderingen in de bevolkingsopbouw hebben aanzienlijke effecten op de koudevraag. Onderzoek wijst uit dat het aandeel 65-plussers in de bevolking toeneemt van 19 naar 25

procent (NIDI en CBS). Dit heeft gevolgen voor de koelbehoefte. Bovendien zijn deze ouderen overdag thuis en neemt de koelbehoefte in woningen daardoor toe. Hetzelfde effect zien we door de toename van thuiswerken. In welke mate dat gaat doorzetten of afnemen is niet bekend. Daarnaast wordt een verandering in samenstelling en met name een toename van het aantal eenpersoons huishoudens voorspeld.

#### **4.3.2 Kennishiaten**

Bovenstaande rapporten geven een algemeen landelijk beeld van ontwikkelingen. Hoe deze ontwikkelingen doorwerken naar een (invulling van de) koudevraag is nog niet bekend.

#### **4.3.3 Acties**

- In beeld brengen van het effect van toekomstige ontwikkelingen (veranderingen in bevolkingsomvang, aantal en type woningen, vergrijzing en thuiswerken) op koelbehoefte met modelinstrumentarium.

### **4.4 Hoe ontwikkelt de woning- en bouwvoorraad zich en hoe wordt bebouwd gebied in de toekomst ingericht?**

#### **4.4.1 Huidige kennis**

Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft in samenwerking met provincies en gemeenten de woningbouwplannen tot 2030 in kaart gebracht. In heel Nederland komen er in ruim 961.000 woningen bij. Hieronder vallen ook een aantal (14) grootschalige woningbouwgebieden, waarbij circa 200.000 woningen worden gerealiseerd. (oplopend naar 440.000 op de lange termijn).

Door de verdichtingsopgave waar veel steden uitvoering aan geven, wordt de stad compacter en neemt groen in veel gemeenten voorsnog af. Dit leidt tot een toename in hitte-eiland effect en daarmee de koelbehoefte.

De in sectie 4.3 beschreven veranderingen in maatschappelijke factoren werken door in de woonbehoeften en bouwvoorraad. Zo zullen bijvoorbeeld de vergrijzing, toenemende levensverwachting, toename eenpersoons huishoudens leiden tot een verandering in het type te bouwen woningen. Ook dit zal effect hebben op het type woningen en koudebehoefte.

In hoofdstuk 3.3 is al beschreven dat de inrichting van de buitenruimte significant effect heeft op de lokale buitentemperatuur. Vergroening en vernatting kan de temperatuur aanzienlijk laten dalen. Blokkade van lokale windgangen kan juist leiden tot verhogingen van de temperatuur. In welke mate dit soort principes daadwerkelijk toegepast gaan worden bij de inrichting van nieuwbouwwijken of herinrichtingsgebieden is een kennishiaat.

#### **4.4.2 Kennishiaten**

Op dit onderdeel zijn de belangrijkste kennishiaten:

- Welke type woningen komen op welke locaties en wat is het effect op de koelbehoefte? Hoe gaan we in de toekomst om met oriëntatie van woningen, vergroening en vernatting, open plekken en doorwaaien in nieuwbouwalocaties en herinrichtingsgebieden?

#### **4.4.3 Acties**

- In beeld brengen van veranderingen in de bouwvoorraad en modelleren en meten van de effecten van deze veranderingen op de koelbehoefte.

## 4.5 Hoe moeten we omgaan met de onzekerheden ten aanzien van de externe ontwikkelingen? .

### 4.5.1 Huidige kennis

Door verschillende scenario's te ontwikkelen en daarin aannames te doen over de externe ontwikkelingen is het mogelijk om een koudevraag voor elk van de scenario's te bepalen. De scenario's tezamen geven dan een bandbreedte weer. Voor het ontwikkelen van de scenario's kan gebruikt worden van de klimaatscenario's en de WLO-scenario's, maar moeten aannames gedaan worden op het gebied van de bevolkingsopbouw, thuiswerken, woningvoorraad, vergroening en vernatting.

Om tot slot de koudevraag van de toekomst te kunnen bepalen moeten we ons ook afvragen of we in de toekomst nog wel hetzelfde omgaan met onze koelbehoefte (zoals die in het eerste onderdeel van deze Kennisagenda is besproken). Wellicht zouden we iets minder comfort kunnen accepteren? Wellicht is door een groter bewustzijn over klimaatverandering tot meer energiebesparing? De kennis over hoe de motivaties van bewoners veranderen om tot actieve koelinstallaties over te gaan is zeer beperkt.

### 4.5.2 Kennishiaten

Er zijn meerdere scenariostudies beschikbaar die een goede basis leggen het bepalen van de toekomstige koudevraag. Daarvoor zijn echter op de volgende punten nog kennishiaten:

- Hoe de landelijke klimaatscenario's door te verlaten naar lokale buiten temperaturen.
- Hoe de effecten van de veranderende bevolkingsopbouw, thuiswerken, woningvoorraad, vergroening en vernatting op de koudevraag te verwerken in de bestaande scenario's. Inzicht in het effect van klimaatbewustzijn en actieve koeling.

### 4.5.3 Acties

We adviseren om bestaande landelijk scenario's te vertalen naar wat ze betekenen voor de koelbehoefte. Deze scenario's dienen naast factoren zoals bevolkingsopbouw en woningvoorraad, verder gespecificeerd op factoren die nog meer relevant zijn voor de koelbehoefte, zoals thuiswerken, woningoriëntatie, vergroening en vernatting.

## 5 Maatregelen

Dit onderdeel van de kennisagenda gaat over maatregelen die de koudevraag of de energievraag verminderen. Dat kunnen maatregelen zijn die betrekking hebben op het gedrag van bewoners, op gebouwmaatregelen en gebiedsmaatregelen. Daarbij beperken we ons tot maatregelen die een invloed hebben op de binnentemperatuur en laten we maatregelen als 'luchtige kleding' in deze verkenning buiten beschouwing.

### 5.1 Kennisvragen

Maatregelen kunnen het comfort verbeteren door opwarming van de woning te voorkomen, de temperatuur of latente warmte heel lokaal te verlagen of warmte te onttrekken (IEA-EBC Annex 80). Maatregelen kunnen worden genomen op gebouw-, gebieds- of gedragsniveau. Om de maatregelen goed in modelberekeningen mee te kunnen nemen zijn de volgende subvragen relevant:

- Wat is de mate van toepassing van maatregelen?
- Hoe effectief zijn maatregelen in reductie van koudevraag of energievraag?
- Wat is de energie-efficiëntie van maatregelen?
- (indien we ook kosten willen meenemen: Wat zijn de kosten/wat is de kostenefficiëntie van maatregelen?)

### 5.2 Welke maatregelen kunnen worden genomen op gebouwniveau?

Op gebouwniveau kunnen we de volgende maatregelen beschouwen:

- Isolatie/kierdichting/thermische massa
- Groene daken/gevels
- Witte daken/gevels
- Blauwe daken
- PV-panelen op daken
- Oriëntatie van de ventilatie openingen
- Voor nieuwbouw: oriëntatie en oppervlakte van de woning/ramen
- Een koelsysteem (lucht-luchtwarmtepomp (split airco), mobiele airco, lucht-waterwarmtepomp, bodemwarmtepomp)

#### 5.2.1 Huidige kennis

Met simulatiemodellen kan het effect van bovenstaande gebouwmaatregelen vaak wel berekend worden, bijvoorbeeld het werk door de TU/e, Figuur 7. In het Horizon 2020 project Resilient Cities and Infrastructures (RESIN) is een online bibliotheek<sup>10</sup> opgezet met wetenschappelijke publicaties over het effect van klimaatadaptatiemaatregelen. Een heel recent voorbeeld is het overzicht van het NKWK project Hitte in de woning (2022) waarbij ze simulaties voor twee woningtypes hebben uitgevoerd, zie Figuur 8. In hoeverre deze effectberekeningen ook in de praktijk gevalideerd zijn en of hiervan de energie-efficiëntie berekend is, is ons niet bekend.

Het is goed om isolatie als maatregel hier apart te noemen, omdat er veel vragen over bestaan. In hoeverre draagt isolatie bij aan de opwarming van woningen? In principe houdt het de warmte buiten, maar als de zon naar binnen schijnt, warmt de woning van binnenuit op en wordt de warmte weer goed vastgehouden. Kierdichting zorgt er verder voor dat er geen ongewenste infiltratie plaatsvindt, maar dan moet de (gewenste) ventilatie wel op orde zijn.

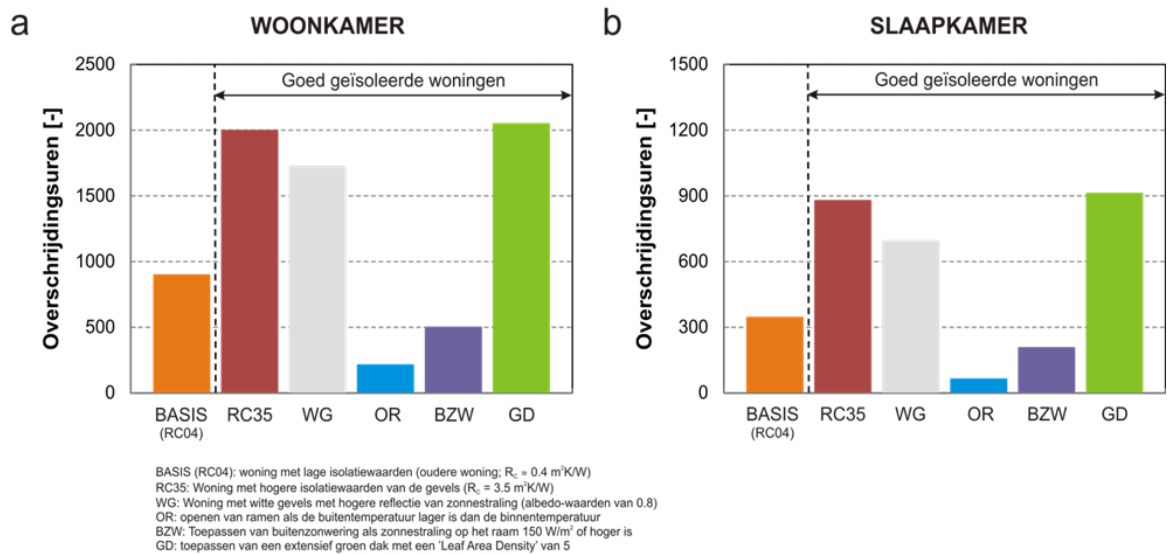
---

<sup>10</sup> <https://resin-aol.tecnalia.com/apps/adaptation/v4>

Simulatiemodellen van de TU/e laten voor een bepaalde woning zien dat het aantal oververhittingsuren verdubbelt of zelfs verdrievoudigt bij verbeterde isolatie. Figuur 7 en Figuur 8 laten zien dat passieve maatregelen, zoals ramen openen en buitenzonwering het meest effectief zijn in combinatie met isolatie.

Wat betreft de kosten zijn in de Klimaatbestendige Stad Toolbox<sup>11</sup> kosten opgenomen van de maatregelen: groen dak, blauw dak, wit dak.

Buitenlands onderzoek laat zien dat PV-panelen op daken de koudevraag met 12% reduceert (Masson et al., 2014) en dat zonwering de binnentemperatuur met 3°C kan verlagen (Oropeza-Perez et al., 2018)



Figuur 7 Het effect van maatregelen op oververhittingsuren (bron: TU/e)

<sup>11</sup> <https://kbstoolbox.nl/nl/>

|   |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Buitenzonwering<br>Metallic gordijnen<br>Zonwerend glas<br>Boom voor het raam | Sterk positief effect | Het beperken van de zonstraling blijkt het belangrijkste te zijn in het koel houden van de woning. Buitenzonwering, metallic gordijnen, zonwerend glas, en een boom voor het raam zullen naar verwachting de zonstraling het beste beperken en de woning koel houden tijdens een hete periode.  |
| Optimalisatie spuiventilatie<br>Triple glas<br>10 procentpunt meer groen      | Positief effect       | Woningen waar ventilatiemogelijkheden beperkt zijn, hebben een grotere kans op opwarming. Optimalisatie van de spuiventilatie is daarom van belang. Daarnaast zorgt meer groen in de omgeving voor een koelere luchttemperatuur, wat het effect van ventilatie kan vergroten. Dit precieze effect heeft nog wel nader onderzoek nodig. Woningen met een boom voor het raam (meer groen) en triple glas beperken tot slot de zonstraling waardoor de woning koeler blijft, maar het effect van de maatregelen onder 'sterk positief effect' is groter. |
| Gordijnen dicht<br>Groene daken<br>Groene gevels                              | Geen of amper effect  | Woningen die alleen gordijnen hebben als zonwering lopen het risico om alsnog op te warmen. Dit komt door opwarming van de gordijnen. Deze warmte wordt vervolgens aan de binnenruimte afgegeven. Groene gevels of daken bij een enkele woning hebben veelal slechts een klein direct effect op de binnentemperatuur. Bij een geïsoleerde woning zal het toepassen van een groene daken of gevels vooral effect hebben op de oppervlaktetemperatuur aan de buitenzijde van de gevel, maar zal nauwelijks van invloed zijn op de binnentemperatuur.    |
| Geen spuiventilatie<br>Kieren dicht   | Negatief effect       | Woningen met onvoldoende spuiventilatiemogelijkheden lopen een groter risico op oververhitting. Dit risico wordt nog eens vergroot wanneer de woning is geïsoleerd en de kieren zijn gedicht. Hierdoor wordt namelijk de zonstraling die de woning intreedt vastgehouden. Het koelende effect van ventileren wordt hierdoor beperkt.  |

Figuur 8 Overzicht van factoren die invloed hebben op hitte in de woning (NKWK, 2022)

### 5.2.2 Kennishiaten

Er is geen overzicht van de mate waarin deze maatregelen op gebouwniveau daadwerkelijk worden toegepast. Ook is niet bekend in hoeverre de berekende effectiviteit van maatregelen in simulatiestudies geverifieerd is met metingen in de praktijk. Speciale aandacht zou hierbij uit kunnen gaan naar de voor- en nadelen van isolatiemaatregelen. Er is weinig bekend over de kosteneffectiviteit van maatregelen.

### 5.2.3 Acties

- Literatuurstudie naar verificatie van effectiviteitsberekeningen
- Verificatie van de effectiviteit van gebouwmaatregelen door metingen in de praktijk.

## 5.3 Welke maatregelen kunnen worden genomen op gebiedsniveau?

De volgende maatregelen worden beschouwd:

1. Vergroening om het huis, oa bomen voor schaduw
2. Stedelijke vergroening
3. Meer water
4. Ruimtelijke inrichting: smallere straten voor schaduw
5. Koudelevering (middels specifieke koudenetten of via warmtenetten die ook koude kunnen leveren)

### 5.3.1 Huidige kennis

In het kader van het nationaal Deltaprogramma <https://www.deltaprogramma.nl/> en de Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS, 2016) werken overheden, waaronder gemeenten,

aan het klimaatbestendig inrichten van stedelijk gebied. Het beperken van (de gevolgen van) hittestress is hier onderdeel van. Grote steden geven aan in te gaan zetten op vergroening en meer bomen Amsterdam (Groenvisie, 2020) , Den Haag (hethaagsegroen.nl, 2022), Utrecht (Omgevingsvisie Utrecht, 2018).

Er zijn diverse studies, zowel simulaties als metingen, gedaan naar het effect van groen, water en ruimtelijke inrichting op de buitentemperatuur en gevoelstemperatuur. In het Climate Proof Cities programma is hier bijvoorbeeld onderzoek naar gedaan en de RESIN Library<sup>12</sup> geeft een overzicht van literatuur op dit gebied. Veel gebiedsmaatregelen worden ontwikkeld in het kader van klimaatadaptatie en klimaatbestendige inrichting van steden. De effecten van deze maatregelen op de binnentemperatuur in woningen wordt niet bepaald.

HvA heeft de EfFact <sup>13</sup>checker opgezet met informatie over maatregelen in de buitenruimte, waaronder de effectiviteit.

Koudelevering via Zeer-Lage-Temperatuur (ZLT)-netten wordt momenteel hoofdzakelijk in nieuwbouwwijken toegepast. ZLT-netten worden internationaal aangeduid als 5<sup>th</sup> Generation District Heating Cooling (5GDHC) grids. De toepassing van ZLT-netten in bestaande wijken is innovatief; zie bijvoorbeeld het zonnewarmtenet in het Ramplaankwartier in Haarlem ([www.dezonnet.nl](http://www.dezonnet.nl)), dat recent PAW subsidie heeft ontvangen. Met het inzicht dat veel bestaande woningen nu al LT-ready zijn (Pothof, 2022) en de toenemende toekomstige koudebehoefte in de toekomst, zal bij een gebiedsinrichting, die zich leent voor een warmtenet, een afweging gemaakt moeten worden tussen een MT/LT-warmtenet zonder koudelevering of een ZLT-net met de mogelijkheid voor koudelevering. Door onderstaande kennishiaten kan deze afweging niet goed onderbouwd worden.

### 5.3.2 Kennishiaten

- De koppeling tussen maatregelen op gebiedsniveau (tbv een klimaatbestendige inrichting) en de effecten hiervan op het binnenklimaat van gebouwen.
- Afwegingskader voor de keuze tussen warmtenetten zonder koudelevering en warmte/koudenetten met koudelevering.
- Het effect van gebiedsmaatregelen is vooral onderzocht overdag en niet zozeer 's nachts, wanneer het hitte-eilandeffect op z'n grootst is. Dit kan ook het koelvermogen van nachtventilatie beïnvloeden
- Kennis over wijktypologieën in relatie tot het UHI effect kan helpen bij de modellering (Maiullari, 2021).
- Er is weinig bekend over de kosteneffectiviteit van maatregelen.
- Welke bomen kunnen het beste worden gebruikt, en kan daarbij bijvoorbeeld ook de verspreiding van allergenen worden meegenomen?

### 5.3.3 Acties

- Overleg met partijen van geschikte modellen om te bespreken in hoeverre we de modellen kunnen gebruiken en koppelen voor het doel van de Kennisagenda. (zie ook 2.3.3)
- Analyse en bepaling van wijktypologieën
- Simulaties en metingen van gebiedsmaatregelen in de nacht

---

<sup>12</sup> <https://resin-aol.tecnalia.com/apps/adaptation/v4/#!/login?redirect=%2Fapp%2Fsummary>

<sup>13</sup> <https://www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/contentgroep/klimaatbestendige-stad/resultaten/effact-checker.html>



## 5.4 Welke gedragsmaatregelen kunnen worden genomen?

De volgende maatregelen worden beschouwd:

- Zonwering: intern/extern, statisch/dynamisch
- Ventilatie
- Losse ventilatoren
- Beperken van de interne warmtelast (bv minder gebruik van fornuis/oven)

### 5.4.1 Huidige kennis

Er zijn een aantal studies die een eerste inzicht bieden in de toepassing van zonwering en ventilatie door bewoners (MeMo2, 2020; Tauw, 2021; TNO, 2021; Jaga). De HvA heeft voor 2 x 11 huishoudens zelfs uitgebreide informatie verzameld over raamstand/ventilatiegedrag en zonwering binnen en buiten (HvA, 2019 en 2020). De vraagstelling in deze studies is wel anders en daarom lastig te vergelijken.

In de utiliteitsbouw is het gebruikelijk dat de zonwering automatisch wordt aangepast. Ook bij balansventilatie met warmteterugwinning (wtw) kan de wtw automatisch worden gepasseerd (by-pass) om de koelere buitenlucht 's nachts direct de woning in te leiden. Maar momenteel vereisen het toepassen van buitenzonwering en ventilatie in woningen een actieve betrokkenheid van bewoners. De TU/e merkt op dat deze acties botsen ze met de historisch gevormde relatie die veel Nederlanders hebben met de zon waardoor er een cultuurverandering nodig is om huishoudens goed met warm weer te laten omgaan (Kuijer, 2021). In Portugal bijvoorbeeld zijn mensen gewend om 's morgens de luiken dicht te doen en deze 's avonds weer te openen als het afkoelt.

Het RAAK project kijkt daarom naar het gebruik van (conceptuele) modellen van gedragsverandering en hanteert deze driedeling richting bewoners:

1. Bewustzijn over hitte: wat is het en wat betekent het voor jou?
2. Wat is je handelingsperspectief?
3. In actie komen: wanneer gaan mensen over tot het nemen van maatregelen

Een losse ventilator tot slot heeft geen effect op de binnentemperatuur, maar kan wel op twee manieren nuttig ingezet worden:

- een ventilator heeft wel een verkoelend effect, omdat de luchtstroom helpt bij de verdamping van zweet en daarmee zorgt voor afkoeling van het lichaam<sup>14</sup>. Ook bij het gebruik van een airco wordt aangeraden om een ventilator te gebruiken. De airco kan dan een paar graden hoger ingesteld worden voordat het oncomfortabel wordt<sup>15</sup> (Figuur 9).
- Een ventilator die aan de warme kant van het gebouw wordt geplaatst en lucht naar buiten blaast kan de luchtstroom tijdens het ventileren op gang helpen.

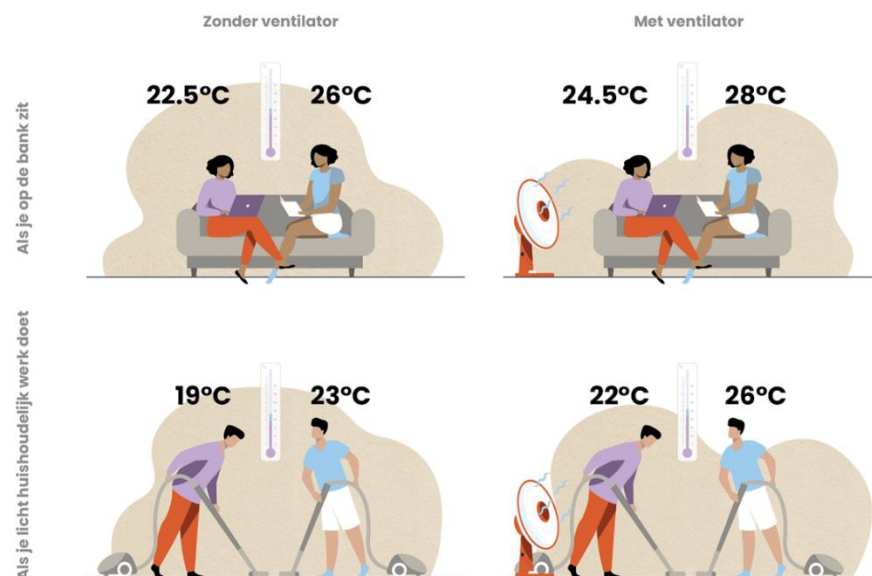
---

<sup>14</sup> Morris et al (2021). Electric fan use for cooling during hot weather: a biophysical modelling study. *Lancet Planet Health*. 2021 Jun;5(6):e368-e377. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00136-4.

<sup>15</sup> <https://www.radboudumc.nl/en/news-items/2022/want-to-be-sustainable-and-cool-choose-fans-more-and-aircon-less>

## Bespaar energie en stel je airco in op een hogere temperatuur

### Indicatie comfortabele luchttemperatuur



Comfortabel én energiezuinig zijn? Koel je huis dan niet teveel, maar pas je kleding aan en zet de juiste hulpmiddelen in, dan heb je de minste last van de hitte.

### Warm aanbevolen

*Figuur 9 Richtlijnen vanuit het consortium Warm Aanbevolen over je de airco hoger kunt stellen en toch comfortabel kunt blijven door kleding aan te passen en een ventilator te gebruiken*

#### 5.4.2 Kennishiaten

We weten niet in hoeverre mensen bekend zijn met en bereid zijn om actief maatregelen te nemen om opwarming te voorkomen. De effectiviteit van deze gedragsmaatregelen kan gesimuleerd worden, zie Figuur 7, maar het werkelijke gedrag van bewoners is nog niet bekend, dit kan heel specifiek zijn voor de persoon en situatie, dus hoe kunnen we dit meenemen in de modellen? En ook hier weten we niet in hoeverre de simulatiestudies geverifieerd zijn in de praktijk.

Ook is over de mate waarin gedrag kan worden beïnvloed nog weinig bekend, dat kan zijn door beleid, maar in hoeverre zijn gebouw en installaties sturend in het gedrag? Gaan mensen hun gedrag aanpassen als het voor een lange periode warm is? Er lijkt nu nog wel een kans te zijn om gedrag te sturen, aangezien men in Nederland nog niet echt gewend is aan een airco.

#### 5.4.3 Acties

Wij adviseren om de komende jaren tijdens de zomer onderzoek te doen naar de mate waarin mensen maatregelen namen en hoe effectief die zijn. Idealiter wordt samen opgepakt met verwijzingen naar vragenlijsten en metingen onder andere hoofdstukken.

Het RAAK-project gaat deze zomer onderzoek doen bij honderd woningen. Na dit onderzoek zou het goed zijn om te evalueren wat er aan informatie is opgehaald en wat er nog ontbreekt en op basis hiervan een onderzoek voor de zomer van 2023 en verder te ontwerpen.

## 6 Beleidsinstrumenten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de kennisvragen met betrekking tot beleidsinstrumenten. Met beleidsinstrumenten worden financiële instrumenten bedoeld, zoals subsidies of heffingen, juridische instrumenten, zoals wetgeving en beleidsplannen en communicatieve instrumenten, zoals voorlichtingscampagnes. Door middel van deze beleidsinstrumenten kunnen concrete maatregelen (zoals beschreven in het vorige hoofdstuk) gestimuleerd worden of gedrag gestuurd worden.

### 6.1 Kennisvragen

De belangrijkste kennisvragen met betrekking tot dit onderdeel zijn:

- Welke financiële instrumenten kunnen worden ingezet ?
- Welke juridische instrumenten kunnen worden ingezet?
- Welke communicatieve instrumenten kunnen worden ingezet?
- Wat kunnen we leren van het buitenland?

### 6.2 Welke financiële beleidsinstrumenten kunnen worden ingezet?

#### 6.2.1 Huidige kennis

Omdat de koudevraag pas recent meer aandacht krijgt is er weinig kennis beschikbaar over financiële instrumenten met betrekking tot koude. De meeste subsidieregelingen zijn gericht op de warmtetransitie. De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) geeft een tegemoetkoming op isolatiemaatregelen en de aanschaf en installatie van onder andere warmtepompen en zonneboilers.

Er zijn momenteel geen subsidies beschikbaar voor de aanschaf, installatie of exploitatie van passieve of actieve koelingsinstallaties. Passieve koeling, bijvoorbeeld door middel van zonwering, kan de koudevraag behoorlijk verminderen, maar valt niet onder de subsidievoorwaarden. Subsidies voor passieve koeling zouden uiteindelijk kunnen leiden tot minder gebruik van actieve koeling met als gevolg een kleinere belasting op het elektriciteitsnet. Omdat de aanschafkosten in sommige gevallen best aanzienlijk kunnen zijn, zou dit met subsidies gestimuleerd kunnen worden.

Een tweede beleidsinstrument is het variabel beprijzen van elektriciteit. Via prijsprikkels kan mogelijk het koelgedrag van bewoners beïnvloed worden, bijvoorbeeld door hogere elektriciteitsprijzen voor koeling kan (overmatig) koelgedrag worden tegengegaan. Door de prijzen gedurende de dag te laten variëren kan mogelijk de belasting van het elektriciteitsnet beter gespreid worden.

In de koudevraag kan ook voorzien worden via warmte-koude opslag (wko) of bodemlussen, die een beduidend lager elektriciteitsverbruik hebben dan lucht-water koelmachines en airco's. Hiervoor zijn geen subsidies beschikbaar. Wel zijn er subsidies voor onderdelen van een wko-systeem, zoals een warmtepomp. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor groene leningen met lage rentes voor energiebesparende maatregelen. Die leningen zouden ook voor zonwering beschikbaar gesteld kunnen worden.

### 6.2.2 Kennishiaten

- Kunnen in de bestaande subsidieregelingen ook maatregelen voor koude worden meegenomen en welke maatregelen en voorwaarden zouden dan moeten gelden?
- Op welke wijze kan het koelgedrag beïnvloed worden met prijsprikkels?
- Wat is er nodig (qua prognoses, cijfers) om te kunnen bepalen wanneer het punt wordt bereikt dat de energievraag voor koeling zodanig groot wordt dat het beleidsmatig effectief is om passieve koeling te subsidiëren om de extra elektriciteitsvraag te verminderen?

### 6.2.3 Acties

Wij adviseren onderzoek te starten naar aanpassing van subsidieregelingen voor het voorkomen van opwarming, naar het effect van prijsprikkels, het meewegen van oververhitting/comfort in de punten van huurwoningen en het meenemen van koeling in de energieprestatie van woningen.

## 6.3 Welke juridische instrumenten kunnen worden ingezet?

### 6.3.1 Huidige kennis

Ook in de juridische sfeer worden verschillende beleidsinstrumenten ontwikkeld gericht op de warmtevoorziening en krijgt de koudevoorziening weinig aandacht.

Op regionale en lokale schaal zijn regio's en gemeenten verplicht om Regionale Energiestrategieën en Warmte transitievisies op te stellen. Koude wordt echter in veel van deze documenten niet of nauwelijks meegenomen. Deze beleidsdocumenten hebben nu nog geen juridische status, maar dat wordt in de Wet Gemeentelijke Instrumenten Warmtetransitie beter geregeld. Het zou goed zijn als koude daar ook een plek in krijgt. Daarvoor dienen de strategieën of visies, die vaak alleen op hoofdlijnen een richting beschrijven, in meer detail te worden uitgewerkt. Er dienen concrete wijkuitvoeringsplannen gemaakt te worden, die vervolgens vastgelegd moeten worden in gemeentelijke Omgevingsplannen. Hier is nog relatief weinig ervaring mee.

Gemeente zouden een hitteplan kunnen maken, waarin lokale acties worden geformuleerd om maatregelen te stimuleren tijdens hitte. In dergelijke hitteplannen zou een verplicht onderdeel opgenomen kunnen worden over het mitigeren van te hoge binnentemperaturen in woningen.

Op gebouwniveau zijn ook een aantal instrumenten mogelijk. Sinds 1 januari 2021 zijn de BENG-eisen voor nieuwbouw van kracht. Dit zijn eisen aan de energieprestatie van nieuwe gebouwen. De TO-juli (TemperatuurOverschrijding in juli) is een indicator gericht op het risico van temperatuuroverschrijding in de (hele) woning. Hoe hoger, des te groter het risico op temperatuuroverschrijding. De grenswaarde voor nieuwe woningen is 1,2, daarboven moet het ontwerp worden aangepast of moeten andere maatregelen worden genomen. Deze eis zou ook uitgebreid kunnen worden naar bestaande bouw en mee kunnen worden genomen in de huurpunten van huurwoningen. Daarnaast zijn mogelijkheden om naast het een energielabel ook hittelabel voor woningen te ontwikkelen. Het NKWK project Hitte in de woning heeft (2022) een voorzet gedaan voor het opstellen van een Hittelabel met de categorieën:

- A - klein risico op oververhitting
- C - matig risico op oververhitting
- E - groot risico op verhitting.

### 6.3.2 Kennishiaten

- Hoe kan koude evenwichtig worden meegenomen in de beleidsplannen voor de energietransitie en klimaatadaptatie op nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau?

## 6.4 Welke communicatieve instrumenten kunnen worden ingezet?

### 6.4.1 Huidige kennis

Communicatieve beleidsinstrumenten kunnen ingezet worden om het gedrag van mensen te beïnvloeden. Er kan voorlichting worden gegeven over hittestress, waarbij er bewustwording kan worden gecreëerd dat koeling (in sommige gevallen) een medische noodzaak is en niet alleen comfortkwestie. Maar ook voorlichting over passieve manieren van je huis koelen en informatie over airco's en het gebruik daarvan (denk aan het koelen op een hogere temperatuur dan 20 graden). Uit onderzoek blijkt dat publieke voorlichtingscampagnes wel helpen om de bewustzijn te creëren, maar over het algemeen nog niet direct leiden tot gedragsverandering. Er kan ondersteuning worden geboden met betrekking tot subsidie aanvragen, leningen, etc.

### 6.4.2 Kennishiaten

- Hoe kunnen mensen bewust gemaakt worden van hun koelgedrag mbt actieve en passieve koelmaatregelen?
- Hoe kunnen mensen gestimuleerd worden om te investeren in passieve koeling?

## 6.5 Voorbeelden in het buitenland

In de EU is geen monitoring van het beleid om oververhitte woningen tegen te gaan, vooral omdat er in de meeste landen geen beleid is (Ramboll, 2022). In regio's met een warmer klimaat dan Nederland is meer ervaring het reguleren van de koudevoorziening en het stimuleren van koude-maatregelen. Nederland kan daarvan leren. Niet alle maatregelen zullen in de Nederlandse context toepasbaar zijn, maar het onderstaande overzicht kan wel inspiratie geven voor Nederlands beleid.

In Spanje is het sinds 1 augustus verboden om de airco lager dan 27 graden Celsius te zetten in publieke en grote commerciële gebouwen en in het openbaar vervoer<sup>16</sup>. Ook is het verplicht om de deuren gesloten te houden als de airco aan staat.

Parijs heeft een uitgebreid klimaatadaptatieplan (Mairie de Paris, 2015) met daarin onder andere de ambities dat:

- elke inwoner op 7 minuten loopafstand een koele plek in de buurt van de woning moet hebben
- tijdens hitte de parken ook 's nachts worden opengesteld
- er 30 hectare extra openbaar groen wordt gecreëerd en er 20.000 extra bomen worden geplant

Tijdens de summer study van de European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) in juni 2022 is door Vera Rovers van TNO een discussie georganiseerd over dit onderwerp met buitenlandse deelnemers. In deze discussie kwamen onderstaande voorbeelden naar voren.

- In Zwitserland hebben ze een keer lagere temperaturen door het warmtenet gestuurd in de winter zonder dat bewoners het wisten, omdat ze vonden dat mensen hun woning te hoog stookten en wilden kijken wat er gebeurde (er zijn geen reacties of klachten gekomen)
- Sinds 2005 zorgt de piek in de energievraag in Japan voor een overbelasting van het net en zijn gebouwen verplicht om kantoren warmer te laten worden (tot wel 28°C). Japanners krijgen dan zelfs vanuit de overheid de instructie om de kleding aan te passen aan de warmere kantoren (Cool Biz); . *"To prevent blackouts, the government*

---

<sup>16</sup> <https://www.theguardian.com/world/2022/aug/02/spain-puts-limits-on-air-conditioning-and-heating-to-save-energy>

is asking companies and government offices to cut electricity usage by 15 percent. It wants companies to limit air conditioning and set room temperatures at a warm 28 degrees Celsius.” Sinds de kernramp met Fukushima is de situatie nog nijpender geworden en is er sprake van (Super Cool Biz<sup>1718</sup>).

**Japan asks office workers to shed their suits and save energy**

Facing an energy crisis following the Fukushima disaster, the Japanese government are trying to encourage business people to dress more causally – and have kicked off a new campaign called “Super Cool Biz”...

Jun 1st 2011, 4:12 PM 553 Views 0 Comments Share 4 Tweet 8 Email 5

THE JAPANESE GOVERNMENT wants the country’s suit-loving salarymen to be bold this summer. They are encouraging them to ditch the stuffy jacket and tie and – for the good of a country facing a power crunch – go light and casual.

Japan’s ‘Super Cool Biz’ campaign kicked off today with a government-sponsored fashion show featuring outfits appropriate for the office yet cool enough to endure the sweltering heat.

This summer may be especially brutal. The loss of the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, which was crippled by the March 11 tsunami, means electricity could be in short supply around the nation’s capital, Tokyo, during especially hot days.



- In Portugal is er een incentive voor het dubbele gebruik van warmtepompen voor verwarming en koeling.
- California heeft een aantal maatregelen genomen:
  - ramen (raamoppervlakten) in bepaalde oriëntaties zijn verboden.
  - je kan subsidie krijgen voor schaduwmaatregelen.
  - er een wisselschema waar woonblokken van de stroom af gaan als er teveel vraag is.
- India heeft een Cooling Action Plan gestart om de energievraag voor koeling te reduceren (Kaur et al., 2022). Er is campagne gestart om de airco op minimaal 24 graden te zetten. Onderzoek laat echter zien dat 60% de airco op 20-21 graden instelt.

### 6.5.1 Kennishiaten

- Hoe wordt koude bv meegenomen in energielabel in andere landen?

<sup>17</sup> <https://www.dailymed.com/japan-asks-office-workers-to-shed-their-suits-and-save-energy-147271-Jun2011/>

<sup>18</sup> <https://www.popsci.com/science/article/2011-06/japan-pledges-save-world-hawaiian-shirt-initiative-named-super-cool-biz/>

## 6.6 Acties

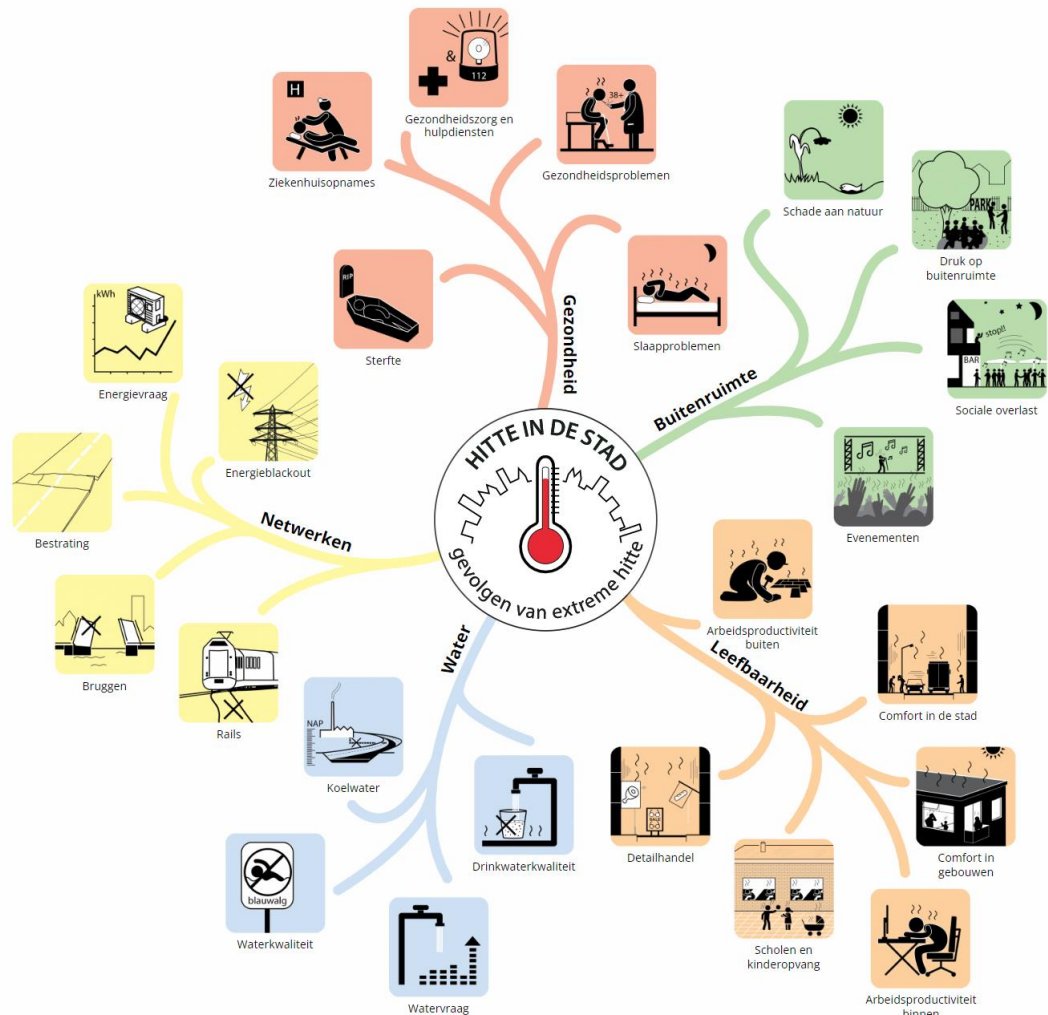
We adviseren om de komende jaren te onderzoeken welke beleidsinstrumenten ingezet kunnen worden om koude-maatregelen te stimuleren. Er moet worden onderzocht of het zinvol is om passieve koeling op te nemen in de subsidieregelingen. Daarnaast zou onderzocht moeten worden hoe in de regelgeving en in de beleidsplannen beter rekening gehouden kan worden met de toekomstige koudevoorziening.

Een goed startpunt hiervoor zou een onderzoek zijn naar hoe in het buitenland wordt omgegaan met reguleren van de koudevoorziening en het stimuleren van maatregelen voor koeling. Deze voorbeelden zouden vervolgens vertaald kunnen worden naar de Nederlandse context.



## 7 Impacts

De Hogeschool van Amsterdam heeft een mooie infographic gemaakt van de gevolgen van extreme hitte, zie Figuur 10.



Figuur 10 Mindmap van de gevolgen van extreme hitte in bebouwd gebied (Hogeschool van Amsterdam)<sup>19</sup>

In de ontwikkeling van de standaard stresstest voor hitte (de Nijs et al., 2019), heeft het RIVM in samenwerking met diverse gemeenten een prioritering aangebracht in de impacts van hitte. Leefbaarheid, gezondheid en druk op de buitenruimte kregen een hoge prioriteit van de betrokken gemeenten, impacts op de watervraag en netwerken (verkeer, energie) kregen minder prioriteit.

Voor deze kennisagenda beperken we ons tot de gevolgen gerelateerd aan de stijging en het beïnvloeden van de binnentemperatuur van woningen:

- Leefbaarheid – comfort in gebouwen
- Leefbaarheid – arbeidsproductiviteit binnen

<sup>19</sup> <https://www.hittebestendigestad.nl/mindmap/>

- Gezondheid – slaapproblemen
- Gezondheid – gezondheidsproblemen (die kunnen leiden tot ziekenhuisopname en sterfte)
- Netwerken – energievraag (voor koeling)
- Netwerken – energieblackout (irrt piekbelasting energienetwerk voor koeling)

Het kennisniveau op EU-schaal over impacts van oververhitting in bestaande gebouwen is even zwak ontwikkeld als in Nederland. Bovendien zijn er nog geen studies over de economische effecten van oververhitte woningen op nationaal niveau of sectorniveau in de EU. Dit zijn enkele bevindingen uit een verkennende studie door Ramboll Management Consulting SA voor de European Energy Agency, waarin de relaties verkend zijn tussen klimaatadaptatie, klimaatmitigatie en de gezondheidseffecten door koeling of het ontbreken van voldoende koeling (Ramboll, 2022). Deze studie besteedde specifiek aandacht aan sociale ongelijkheden die hiermee verband houden.

## 7.1 Kennisvragen

Met de uitkomsten uit de voorgaande hoofdstukken kunnen scenario's worden samengesteld die uiteindelijk de impacts bepalen van koeling, of, als koeling ontbreekt, de impacts van oververhitting van woningen.

Wat is de impact van koeling op:

1. (de belasting van) het energiesysteem?
2. het broeikaseffect (door CO<sub>2</sub> emissies van energiegebruik en door uitstoot van andere broeikasgassen uit het koudemiddel)
3. op het stedelijke hitte-eilandeffect?

Wat is de impact van oververhitting van woningen op:

4. comfort en gezondheid
5. de arbeidsproductiviteit (bij thuiswerken of afhankelijk van goede nachtrust)

## 7.2 Wat is de impact van koeling op (de belasting van) het energiesysteem?

### 7.2.1 Huidige kennis

Op basis van de dataset die beschikbaar in de Installatiemonitor (RVO/BDH) kunnen een paar trends gezien worden:

1. De terugleverpiek van PV-panelen is veel groter dan de afnamepiek door koeling. Voor de netbelasting is koeling dan ook niet doorslaggevend. Wellicht kan koeling wel een rol spelen bij het afvlakken van het PV-profiel (bv. in combinatie met een accu), maar dit is enkel op zeer warme dagen mogelijk, als er daadwerkelijk een koelvraag is. Op woningniveau kan een airco er wel voor zorgen dat het net in een zwaardere aansluiting terecht komt. Met hogere kosten als gevolg.
2. De verbruikspiek in de winter (door verwarming) is gemakkelijk 2 tot 3 keer hoger dan de piek door koeling. Ook hieruit wordt duidelijk dat de koelbelasting niet dominant is wat betreft de benodigde netcapaciteit.

Met de warmtevraagprofielengenerator (TNO) kan vraag en het aanbod (de geleverde energie) per uur berekenen en daarmee de piekbelasting van het net op buurniveau bepalen.

Naast koelsysteem voor ruimtekoeling kan er ook een extra energievraag ontstaan voor gekoelde voedselopslag – waarbij ook weer extra warmte wordt geproduceerd in huis – en een toename in douchefrequenties en daarmee de vraag naar warm tapwater (TU/e, 2020).

### 7.2.2 Kennishiaten

- Het (kwantitatieve) effect van koeling op de (piek)belasting van het elektriciteitsnet is nog onbekend.
- In hoeverre is er gelijktijdigheid van de productie door PV en de koelvraag? Is 's nachts koelen op te lossen met accu's?
- Hoeveel risico lopen de energiedoelstellingen? Waar liggen de risico's?

## 7.3 Wat is de impact van koeling op het broeikaseffect?

### 7.3.1 Huidige kennis

Airco's kunnen op twee manieren bijdragen aan het broeikaseffect: door CO<sub>2</sub> emissies gerelateerd aan het energiegebruik en door lekkage van het koudemiddel dat in de installatie gebruikt wordt. Zolang er nog fossiele bronnen worden gebruikt voor de elektriciteitsproductie leidt het gebruik van airco's tot een emissie van CO<sub>2</sub> en draagt bij aan de mondiale opwarming. Deze uitstoot is goed te berekenen met emissiefactoren als het elektriciteitsgebruik bekend is, zie 7.2.

Voor het koudemiddel worden vaak fluorkoolwaterstoffen (HFK's) gebruikt, wat sterke broeikasgasen zijn. Het koelmiddel kan tijdens de levensduur van de warmtepomp gaan lekken er kan koudemiddel vrijkomen tijdens onderhoud en reparaties. Geelen (2021) schat dat voor de meeste stationaire toepassingen in Nederland waarin koudemiddel wordt gebruikt er jaarlijks 2% lekkage plaatsvindt bij kleine huishoudelijke warmtepompen. Bij recycling van het koudemiddel aan het einde van de levensduur van de airco is de schatting dat er 20% vrij komt. De broeikasgasemissie van koudemiddelen wordt meegenomen in de emissieregistratie van het RIVM (Honig et al., 2022).

Er zijn ontwikkelingen in koudemiddelen met een lagere GWP<sup>20</sup>. Recent is bijvoorbeeld het koudemiddel R410, met een GWP van 2.088, vervangen door R32, met een GWP van 675, als meest toegepaste koudemiddel. Ook wordt gekeken in hoeverre natuurlijke koudemiddelen zoals propaan (GWP:3) kunnen worden gebruikt. In het algemeen is de verwachting voor 2030 dat in monoblocs propaan het meest wordt toegepast en in split units nog steeds R32. Momenteel wordt wel de F-gassenverordening van de EU herzien. Een van de nieuwe verboden in de verordening zou kunnen zijn dat in 2030 een koelmiddel een maximale GWP van 150 mag hebben (onder de 12 kW), waardoor R32 dan niet meer is toegestaan<sup>21</sup>. Daikin heeft aangekondigd gerecyclede koelmiddelen te gaan gebruiken, zodat er minder nieuwe koelmiddelen hoeven te worden geproduceerd<sup>22</sup>.

Een andere impact op het milieu is het gebruik van de materialen voor koelsystemen en andere maatregelen. Dit is nog niet goed uitgewerkt in de Milieudatabase<sup>23</sup>. TNO heeft wel onderzoek gedaan naar de milieu-impact van warmtepompen.

### 7.3.2 Kennishiaten

- Het totale broeikaseffect van het gebruik van koudemiddelen in airco's
- Mogelijkheden om lekkage van koelmiddelen verder tegen te gaan
- Benodigde ontwikkelingen en belemmeringen om alternatieve, natuurlijke koudemiddelen toe te passen

---

<sup>20</sup> Het Global Warming Potential (GWP) is een maat voor het opwarmingseffect ten opzichte van CO<sub>2</sub>.

<sup>21</sup> <https://www.warmte365.nl/nieuws/de-toekomst-van-koudemiddelen-en-de-herziening-van-de-f-gassenverordening-64A9ADB1.html>

<sup>22</sup> [https://www.daikin.eu/en\\_us/about/case-studies/extension-of-the-loop-programme-to-chillers.html?utm\\_medium=Daikin+Europe&utm\\_source=linkedin](https://www.daikin.eu/en_us/about/case-studies/extension-of-the-loop-programme-to-chillers.html?utm_medium=Daikin+Europe&utm_source=linkedin)

<sup>23</sup> <https://milieudatabase.nl/>

### 7.3.3 Acties

- Onderzoek naar het broeikas effect van het gebruik van koudemiddelen in airco's met onderscheid naar type airco, koudemiddel en de energieprestatie van de airco.

## 7.4 Wat is de impact van koeling op het stedelijk hitte-eilandeffect?

### 7.4.1 Huidige kennis

Koeling door airco's kan de buitentemperatuur in bebouwd gebied verhogen en daarmee bijdragen aan het stedelijk hitte-eilandeffect.

Een grove berekening laat de relevantie van de terugkoppeling van airco-gebruik op het UHI effect zien. De huidige antropogene warmtebronnen in een stad leveren een bijdrage van 20 – 40 W/m<sup>2</sup> (de Nijs, 2019). Een gangbare split-unit airco heeft een koelvermogen van 2.5 kW en blaast orde 3.3 kW aan warmte de lucht in (CoP van orde 3). In een rijtjeswoning van 100 m<sup>2</sup> is dit een extra netto bijdrage van 33 W/m<sup>2</sup>. In dichtbevolkte Nederlandse steden (Den Haag, Amsterdam, Haarlem, Leiden) staan orde 2000 woningen/km<sup>2</sup>, wat overeenkomt met een dichtheid van orde 200.000m<sup>2</sup> woonoppervlak/ km<sup>2</sup> grondoppervlak (factor 0,2 op grondoppervlak). Als alle woningen een 2.5 kW airco zouden gebruiken, dan levert dit een extra bijdrage van orde 7 W/m<sup>2</sup>, wat 15% tot 35% is van de huidige antropogene warmte in steden.

De berekening van het UHI effect kan nog wel verbeterd worden. Het UHI-effect wordt bijvoorbeeld op basis van beperkt aantal vaste dagpatronen geparаметriseerd. Ook de terugkoppel-effecten ten gevolge van meer airco-gebruik worden niet meegenomen. Een meer complete berekening van de lokale buitentemperatuur en gevoelstemperatuur zou een dynamische modellering met een micro-meteorologisch model zoals EnviMet (of vergelijkbaar) zijn voor een hittegolf-periode van 7 tot 10 dagen. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen of EnviMet haalbaar is of dat een middenweg tussen een hitte-stresstest en een complete dynamische modellering nodig is. Ramyar et al bespreken mogelijke vereenvoudigingen om effecten van maatregelen te kwantificeren (Ramyar et al, 2019). Pijpers en Maiullari doen ook onderzoek naar bruikbare stedelijke typologieën op basis van EnviMet simulaties om UHI-impacts te mitigeren (Maiullari et al, 2021).

Een mogelijkheid om de bijdrage van airco's aan het UHI effect te voorkomen zou zijn om de overvloedige zomerwarmte in een seizoensopslag op te slaan voor verwarming in de winter.

Een additioneel effect van het hitte-eilandeffect is dat woningen zonder koelsysteem minder goed kunnen afkoelen als het buiten warmer is. Deze woningen hebben alleen de mogelijkheid om te koelen door ventilatie als het buiten kouder is dan binnen. Als het buiten niet of minder afkoelt kan de woning 's nachts niet afkoelen en treedt er een versterkt cumulatief effect op van opwarming van de woning.

### 7.4.2 Kennishiaten

- Wat is het effect van de uitgeblazen warmte van airco's op het UHI (in relatie tot gebiedstypologie)?

### 7.4.3 Acties

- Literatuurstudie naar het effect van airco's op de buitentemperatuur en welke condities van invloed zijn
- Modelling van het effect van airco's en het verrichten van metingen.

## 7.5 Wat is de impact van oververhitting van woningen op comfort en gezondheid?

### 7.5.1 Huidige kennis

Warmte kan tot comfortverlies leiden, maar ook tot negatieve effecten voor de gezondheid. Blootstelling aan warmte doet iets met het lichaam. Het is bijvoorbeeld bekend dat acclimatisatie leidt tot habituatie; dezelfde warmte wordt als minder erg ervaren (Périard, 2015). Verder zijn er aanwijzingen dat warmte mogelijk positieve gezondheidseffecten heeft (op de gezonde populatie). Bij stijgende temperaturen kan de hitte tot negatieve effecten leiden zoals hittestress en zelfs hittesteefte. Bij kwetsbaren in de samenleving doet zich dat eerder voor dan bij gezonde mensen. Koeling wordt dan een medische noodzaak. Een studie door het Joint Research Centre van de Europese Commissie schat dat bij een mondiale temperatuurstijging van meer dan 2 graden ten opzichte van het pre-industriële niveau er 132.000 additionele doden per jaar zullen zijn in Europa tegen het eind van de eeuw (Ciscar et al. 2018).

Internationaal onderzoek bevestigt verder dat hitte in woningen en het UHI in achterstandswijken meer impact hebben, omdat deze wijken dichter bebouwd zijn, de woningen van slechtere kwaliteit zijn en actieve koeling te duur is (Inostroza et al., 2016).

Momenteel loopt het project 'Warm Aanbevolen'<sup>24</sup>, gefinancierd vanuit ZonMW, met de VU, GGD, TNO, Rode Kruis, RIVM, Universiteit Maastricht en Radboud UMC. De studie onderzoekt de gezondheidseffecten van hitte, met name bij hoog-risico groepen, inventariseert de (omgevings)factoren en kijkt hoe mensen zich bij hitte gedragen. Dit naar aanleiding van de kennisagenda Klimaat en gezondheid<sup>25</sup>.

### 7.5.2 Kennishiaten

- Hoe kan de thermische comfortzone opgerekt worden?
- Wanneer en voor wie is warmte gezond voor het lichaam?
- Wanneer leidt hitte tot gezondheidsrisico's? Bij welke omstandigheden komen welke mensen in hoog-risico groepen precies in problemen?
- Bij welke woningen loop je meer gezondheidsrisico's?
- Wat is het handelingsperspectief van verschillende doelgroepen?

In aanvulling op bovenstaande kennishiaten zijn in de bijeenkomst 'Hittestress' van het Klimaatverbond en ZonMW op 15 oktober 2021 de volgende hiaten benoemd:

- Er is nog niet veel onderzoek naar gedrag in relatie tot hitte; inzichten die worden opgedaan in de wetenschap bij bepaalde groepen, zoals sporters, worden onvoldoende vertaald naar andere gevoelige groepen zoals werkenden. Meer onderzoek is nodig naar individuele factoren, zowel voor wat betreft het effect van gedrag op gezondheidseffecten en hoe je gedrag kan veranderen (gedrag van persoon zelf en personen die 'zorgen').
- Er is onvoldoende aandacht voor sommige gevoelige groepen (WHO rapport 2021) zoals lage SES, werkenden, mensen die medicatie gebruiken.
- Er is meer onderzoek nodig naar de rol van medicatiegebruik in het gedrag van mensen, in relatie tot hitte (voorbeeld: plaspillen).
- Meer onderzoek is nodig naar hittestress in instellingen/huizen waar ouderen wonen, ggz-instellingen, andere instellingen in de langdurende zorg, kinderdagverblijven en buitenschoolse opvang.

---

<sup>24</sup> <https://warm-aanbevolen-zonmw.nl/>

<sup>25</sup> <https://www.zonmw.nl/nl/onderzoek-resultaten/gezondheidsbescherming/programmas/programma-detail/klimaat-en-gezondheid/>

### 7.5.3 Acties

- Onderzoek naar de impact van oververhitting op comfort en gezondheid in de Nederlandse context.

## 7.6 Wat is de impact van oververhitting van woningen op de arbeidsproductiviteit?

### 7.6.1 Huidige kennis

Hitte leidt tot verminderde arbeidsproductiviteit. Bij omgevingstemperaturen hoger dan 25 °C daalt de productiviteit met 2% per graad temperatuurstijging (Seppanen et al, 2004)<sup>26</sup>. Voor Nederland is in het kader van het Climate Proof Cities programma een model ontwikkeld waarmee schattingen van de economische consequenties zijn gemaakt (Daanen, et al. 2013). Op basis van het W+ KNMI'06-scenario (van den Hurk et al., 2006) werd een economische kostenpost geschat van ongeveer 100 miljoen Euro per jaar rond 2050 door klimaatverandering. De belangrijkste factor in de kosten is de verminderde arbeidsproductiviteit als gevolg van hitte. Dit betrof alle sectoren en gaat veel verder dan thuiswerken. Onduidelijk is of het hier alleen gaat over hitte op de werkplek of ook verminderde arbeidsproductiviteit doordat de slaapkamer oncomfortabel is geworden tijdens een warme periode.

Het Horizon 2020 project Heat-Shield<sup>27</sup> onderzoekt de impact van hitte op de werkvloer op gezondheid en arbeidsproductiviteit. Zij hebben een Work Heat Action Plan opgesteld.

### 7.6.2 Kennishiaten

- Een update is nodig van de economische impact van verlaagde arbeidsproductiviteit
- Wat is de verminderde arbeidsproductiviteit in relatie tot woningen (thuiswerken)?

### 7.6.3 Acties

- Onderzoek naar de impact van oververhitting op de werkplek en in slaapkamers op de arbeidsproductiviteit.

---

<sup>26</sup> Zie hier een overzicht van maatregelen wereldwijd op de werkvloer;  
<https://www.nrdc.org/experts/teniope-adewumi-gunn/workplace-heat-protections-across-globe>

<sup>27</sup> <https://www.heat-shield.eu/>

# Referenties

Alders, N. (2016), Adaptive thermal comfort opportunities for dwellings; providing thermal comfort only when and where needed in dwellings in the Netherlands, PhD thesis TUDelft-ABE.

Caverzam Barbosa, E., Kluck, J., & de Groot, M. (2020). *Hitteproef in woningen: resultaten zomer 2020*. Hogeschool van Amsterdam.

Ciscar, J.C., et al. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project, EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97218-8, doi:10.2760/93257, JRC112769.

Energiesprong|Platform31. (2015). *Resultaten uit monitoring over: Concepten nul-op-de-meter en 80% besparing*

Friedel, Paul & Maarten Hommelberg (2021). Memo Analyse 'Koeling uit Installatiemonitor'. ECW0221004.

Groot, M. de, van der Linde M., Mesdaghi B. (2021). Hitte Belevingsonderzoek. Tauw, maart 2021

Geelen, Charles & René van Gerwen (2021). Natuurlijke koudemiddelen in warmtepompen.

Groenvisie 2020 – 2050 Een leefbare stad voor mens en dier (2020) Amsterdam [https://assets.amsterdam.nl/publish/pages/863179/groenvisie\\_2020-2050\\_19012021.pdf](https://assets.amsterdam.nl/publish/pages/863179/groenvisie_2020-2050_19012021.pdf)

[www.hethaagsegroen.nl/](http://www.hethaagsegroen.nl/) bezocht 01-04-2022

Heller R., Kluck J., Melet E., de Vries F. (2021), Hitte in de woning, Onderzoek naar maatregelen voor het verminderen van de koelbehoefte in bestaande woningen en naar de betekenis van de koelbehoefte voor de energietransitie, projectvoorstel RAAK-Publiek, Hogeschool van Amsterdam.

Hommelberg M., Janssen G., Friedel P. (2022), Installatiemonitor, Publieke eindrapportage, BDH, februari 2022.

Honig, E. et al. (2022). Methodology for the calculation of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste. RIVM report 2022-0001.

Höppe (1999), "The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment." International Journal of Biometeorology 43(2): 71-75.

IEA (2018), The future of cooling; opportunities for energy-efficient air conditioning. [The Future of Cooling – Analysis - IEA](#)

IEA-EBC Annex 80, Resilient Cooling of Buildings, Working group 2018 - 2023 <https://annex80.iea-ebc.org/>



Inostroza, L., Palme, M. and de la Barrera, F. (2016) 'A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile', PLOS ONE, 11(9), pp. e0162464.

Ioannou, A., 2018. Thermal comfort and energy related occupancy behavior in Dutch residential dwellings. PhD thesis, A+ BE| Architecture and the Built Environment, pp.242-242.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

ISSO Publicatie 74 (2014), Thermische behaaglijkheid, Eisen en achtergronden betreffende het thermisch binnenklimaat in kantoren en vergelijkbare utiliteitsgebouwen, Stichting ISSO, Rotterdam, ISBN 978-90-5044-264-0.

Itard, L., Ioannou, T., Meijer, A., & Rasooli, A. (2016). Development of improved models for the accurate pre-diction of energy consumption in dwellings. Monicair report, 111.

Kaur, S., Sachdeva, I., Garg, T. (2022). Data-driven approach to designing behaviour change communications for achieving Adaptive Thermal Comfort through optimum air conditioner setpoint temperature settings. ECEEE Summer Study Proceedings 2022

KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds), Jisk Attema, Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Reinout Boers, Theo Brandsma, Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Henk Eskes, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Geert Lenderink, Jessica Loriaux, Erik van Meijgaard, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Frank Selten, Pier Siebesma, Andreas Sterl, Hylke de Vries, Michiel van Weele, Renske de Winter and Gerd-Jan van Zadelhoff. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. [www.climatescenarios.nl](http://www.climatescenarios.nl)

KNMI (2021): KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 p.

Kuijper, S. C. L. (2021). Exploring probable futures of summer comfort in Dutch households: Phase 1: Anticipating the role of smart technologies in the dynamics of everyday life. (1 ed.) Eindhoven University of Technology.

Magni, M., F. Ochs and S. de Vries et al. (2021), Hourly simulation results of building energy simulation tools using a reference office building as a case study, Data in Brief 38, 107370. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107370>

Mairie de Paris (2015). Paris's Adaptation Strategy: Towards a more resilient city.

Maiullari, D., Pijpers-Van Esch, M., van Timmeren, A. (2021), A quantitative morphological method for mapping local climate types, Urban Planning, 2021, 6(3), pp. 240–257.

Malik, Arunima, Coen Bongers, Bonnie McBain, Olivier Rey-Lescure, Richard de Dear, Anthony Capon, Manfred Lenzen, Ollie Jay (2022). The potential for indoor fans to change air conditioning use while maintaining human thermal comfort during hot weather: an analysis of energy demand and associated greenhouse gas emissions. The Lancet Planetary Health. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00042-0.

Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J.-L., Briottet, X. and Lemonsu, A. (2014a). 'Solar panels reduce both global warming and urban heat island', *Frontiers in Environmental Science*, 2, pp. 14.

Nationale klimaatadaptatie strategie, NAS (2016)  
<https://klimaatadaptatienederland.nl/overheden/nas/>

NIDI, CBS CBS, CPB, PBL, RIVM en SCP (2019). Verkenning bevolking 2050 - Zekerheden en onzekerheden over de gevolgen van veranderingen in de bevolking.

NIDI en CBS (2020) Bevolking-2050-in-beeld-drukker-diverser-en-dubbelgrijs  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/07/07/bevolking-2050-in-beeld-drukker-diverser-en-dubbelgrijs>

NIDI en CBS (2021) <https://open.overheid.nl/repository/ronl-38c67549-ad66-41e1-9cb1-92b721d92124/1/pdf/eindrapport-verkenning-bevolking-2050-x.pdf>

Nijs, T. de, P. Bosch, E. Brand, B. Heusinkveld, F. van der Hoeven, C. Jacobs, L. Klok, J. Kluck, A. Koekoek, S. Koopmans, K. van Nieuwaal, R. Ronda, G. Steeneveld (2019), Ontwikkeling Standaard stresstest hitte, briefrapport 2019-0008, RIVM 2019, erratum 19-02-2020, DOI 10.21945/RIVM-2019-0008, <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0008.pdf>

NKWK (2022), Handreiking hitte in bestaande woningen, Nationaal kennis en Innovatieprogramma Water en Klimaat, onderzoekslijn Klimaatbestendige Stad (KBS), januari 2022.

Omgevingsvisie Utrecht (2018)  
<https://omgevingsvisie.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/zz-omgevingsvisie/thematisch-beleid/groen/2018-03-actualisatie-groenstructuurplan-2017-2030.pdf>

Oropeza-Perez, I. and Østergaard, P. A. (2018) 'Active and passive cooling methods for dwellings: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 531-544

OSKA (2019). OSKA-verkenning: Koeling van gebouwen

OSKA (2021). Intentieverklaring: Op weg naar standaarden voor ontwerp van gebouwen die rekening houden met toenemende behoefte aan koeling

PBL (2021) Navigeren naar een klimaatbestendig Nederland, Drie varianten om de uitvoering van het klimaatadaptatiebeleid op kortere en langere termijn te sturen en te monitoren  
<https://www.pbl.nl/publicaties/navigeren-naar-een-klimaatbestendig-nederland>

Périard, J.D., S. Racinais, M. N. Sawka (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports* 2015: 25 (Suppl. 1): 20–38. doi: 10.1111/sms.12408

Petropoulou (2021), Understanding thermal comfort and heating energy use in Dutch dwellings: Analysis of smart meter data, indoor climate and comfort in 78 Dutch dwellings, MSc thesis Civil Engineering and Geosciences, TUDelft, dec 2021.

Pothof, I., Vreeken, T. (2022), Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings, *J. Energy and Buildings* (in review). Key results:

<https://www.tudelft.nl/evenementen/2022/urban-energy/urban-energy-lecture-how-low-can-you-go>

Ramboll Management Consulting (2022), Sustainable cooling efforts – Exploring the mitigation, adaptation and health nexus, draft background report – Task 1 and 2, January 21, 2022.

Ramyar, R., Zarghami, E. and Bryant, M. (2019) 'Spatio-Temporal Planning of Urban Neighborhoods in the Context of Global Climate Change: Lessons for Urban Form Design in Tehran, Iran', Sustainable Cities and Society 51.

Rovers, Vera, Robin Niessink, Pieter Loonen, Arianne van der Wal, Edwin Matthijssen (2021). Energievraag van ruimtekoeling in woningen. TNO-rapport P12657, 2021.

Vadiee, A., Dodoo, A., Gustavsson, L.(2019), A Comparison Between Four Dynamic Energy Modeling Tools for Simulation of Space Heating Demand of Buildings, Cold Climate HVAC 2018, Springer International Publishing, p. 701-711.

Van Beek (2007), Praktijkonderzoek thermisch comfort, vergelijking van de ATG-methode met de GTO-methode in de praktijk, Bouwfysica, vol. 21 (2).

Van der Molen, F. et al. (2021). Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, Den Haag: PBL.

W/E adviseurs. (2018). Ontwikkeling van koudevraag van woningen; factsheets met conclusies en aanbevelingen. i.o.v. het ministerie van EZK.

W/E adviseurs (2020) <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/factsheets-koudetechnieken/koudevraag-in-Nederland>

Wildeboer Schut, J. M. en M. Ras (2020). Inkomen. In: De sociale staat van Nederland: 2020. Geraadpleegd op 29 maart 2022 via <https://digitaal.scp.nl/ssn2020/inkomen>

Woononderzoek. (2018). Woononderzoek Nederland. Retrieved from <https://www.woononderzoek.nl/home>

Wouters, H., De Ridder, K., Poelmans, L., Willems, P., Brouwers, J., Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., Vanden Broucke, S., van Lipzig, N. P. M. and Demuzere, M. (2017) 'Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region', Geophysical Research Letters, 44(17), pp. 8997-9007.

# A. Kennisvragen per discipline

In de hoofdtekst zijn de kennishiaten voor verschillende onderzoeksvragen benoemd. In deze bijlage vatten we de kennisvragen samen per discipline.

## A.1 Gezondheid, comfort en arbeidsproductiviteit

- Wat vinden mensen (nog) een acceptabele binnentemperatuur?
- Welke factoren spelen hierbij een rol? (bijvoorbeeld: leeftijd, ziekte en uitvoeren van een bepaalde activiteit)
- Wanneer en voor wie is warmte gezond voor het lichaam?
- Wanneer leidt hitte tot gezondheidsrisico's? Bij welke omstandigheden komen welke mensen in hoog-risico groepen precies in problemen?
- Wat is het verloop van de koelbehoefte? Wanneer mensen aan hitte en passen ze zich aan bij langdurige hitte?
- Hoe kan de thermische comfortzone opgerekt worden?
- Hoe worden de ruimtes in huis gebruikt (denk ook aan thuiswerken)? In welke ruimtes is een koudevraag?
- Bij welke woningen loop je meer gezondheidsrisico's?
- Wat is de rol van medicatiegebruik in het gedrag van mensen, in relatie tot hitte?
- In hoeverre komt hittestress voor in instellingen/huizen waar ouderen wonen, ggz-instellingen, andere instellingen in de langdurende zorg, kinderdagverblijven en buitenschoolse opvang.
- Wat is de economische impact van verlaagde arbeidsproductiviteit?
- Wat is de verminderde arbeidsproductiviteit in relatie tot woningen (thuiswerken)?

## A.2 Gedrag en beleid

- In hoeverre, waar en wanneer passen mensen maatregelen toe om opwarming van de woning te voorkomen?
- Hoe gebruiken mensen het koelsysteem?
- Hoe kunnen mensen bewust gemaakt worden van hun koelgedrag?
- Hoe en in welke mate kan het gedrag worden beïnvloed?
- In hoeverre zijn gebouw en installaties sturend in het gedrag?
- Gaan mensen hun gedrag aanpassen als het voor een lange periode warm is?
- Kunnen in de bestaande subsidieregelingen ook maatregelen voor koude worden meegenomen en welke maatregelen en voorwaarden zouden dan moeten gelden?
- Hoe kan koude evenwichtig worden meegenomen in de beleidsplannen voor de energietransitie en klimaatadaptatie op nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau?

## A.3 Ruimtelijke inrichting en gebiedsmaatregelen

- Het is niet bekend in hoeverre de berekende effectiviteit van maatregelen in simulatiestudies geverifieerd is met metingen in de praktijk.
- Het effect van gebiedsmaatregelen is vooral onderzocht overdag en niet zozeer 's nachts, wanneer het hitte-eilandeffect op z'n grootst is. Dit kan ook het koelvermogen van nachtventilatie beïnvloeden.
- De koppeling tussen maatregelen op gebiedsniveau (tbv een klimaatbestendige inrichting) en de effecten hiervan op het binnenklimaat van gebouwen.

- Afwegingskader voor de keuze tussen warmtenetten zonder koudelevering en warmte/koudenetten met koudelevering.
- Welke bomen kunnen het beste worden gebruikt tegen UHI, en kan daarbij bijvoorbeeld ook de verspreiding van allergenen worden meegenomen?
- Kennis over wijktypologieën in relatie tot het UHI effect kan helpen bij de modellering (Maiullari, 2021).
- Hoe werken nationale klimaatscenario's door op het lokale klimaat in de stad (UHI)?
- Wat is het effect van de uitgeblazen warmte van airco's op het UHI (in relatie tot gebiedstypologie)?
- Welke type woningen komen op welke locaties en wat is het effect op de koelbehoefte? Hoe gaan we in de toekomst om met oriëntatie van woningen, vergroening en vernatting, open plekken en doorwaaien in nieuwbouwlocaties en herinrichtingsgebieden?

#### A.4 Marketing en psychologie t.b.v. aanschaf airco's

- Hoeveel airco's zijn er in Nederland geïnstalleerd in woningen (en aantal per woning)?
- Hoeveel woningen worden op een andere manier actief gekoeld (bijvoorbeeld middels bodemkoeling en koudenetten)?
- Wanneer schaffen mensen een airco aan? Welke drijfveren zijn er (nu en in de toekomst)?
- Kan de aanschaf van PV en het afschaffen van de salderingsregeling juist leiden tot de aanschaf van airco's (ihkv 'je moet toch iets met die energie?')
- Welke toename in de aanschaf van airco's kunnen we verwachten?

#### A.5 Energiegebruik en broeikasemissies

- Wat is het energiegebruik van airco's en andere systemen voor koeling?
- Wat is het effect van koeling op de (piek)belasting van het elektriciteitsnet?
- In hoeverre is er gelijktijdigheid van de productie door PV en de koelvraag? Is 's nachts koelen op te lossen met accu's?
- Hoeveel risico lopen de energiedoelstellingen? Waar liggen de risico's?
- In hoeverre kunnen koelsystemen de koeling leveren die wordt gevraagd en waar is dit van afhankelijk?
- Wat is het totale broeikaseffect van het gebruik van koudemiddelen in airco's?
- Wat zijn mogelijkheden om lekkage van koelmiddelen verder tegen te gaan?
- Wat zijn benodigde ontwikkelingen en belemmeringen om alternatieve, natuurlijke koudemiddelen toe te passen?

#### A.6 Rekenmodellen

- Verschillende modellen/aspecten moeten gekoppeld worden: gebouwfysica, inrichting van de buitenruimte en het directe (schaduw) en indirecte (bijvoorbeeld UHI) effect op de binnentemperatuur, bewonersgedrag en klimaatscenario's
- Veel modellen zijn nog niet gevalideerd met praktijkmetingen
- Tijdseries van uurdata van voor de koudevraag relevante meteorologische variabelen zijn nodig, ook op lokaal niveau in de stad.
- Zonering van de woning is nodig
- Verdeling van interne warmteafgifte (door apparatuur) over de ruimtes van de woning ontbreekt nog
- Het gedrag van bewoners kan heel specifiek zijn voor de persoon en situatie, hoe kunnen we dit meenemen in de modellen?

- Er is weinig bekend over de kosteneffectiviteit van maatregelen.
- Speciale aandacht zou hierbij uit kunnen gaan naar de voor-en nadelen van isolatiemaatregelen.
- Hoe kunnen we de effecten van de veranderende bevolkingsopbouw, thuiswerken, woningvoorraad, vergroening en vernatting op de koudevraag te verwerken in de bestaande scenario's?

Eenzijds moet het instrumentarium effecten kunnen berekenen op jaarbasis, anderzijds op basis van een kortere extreme periode van hitte, wanneer de grootste effecten en meeste interacties optreden. De toekomstige hittegolven zullen bepalend zijn voor de piek in energievraag en voor de gezondheidseffecten.

We verwachten dat het instrumentarium een hittegolf gedurende een periode van 1 week tot 10 dagen in meer detail moet kunnen doorrekenen voor alle piek-effecten en dat gecumuleerde effecten op jaarbasis met veel meer vereenvoudigingen doorgerekend kunnen worden. Deze focus op hittegolven sluit aan op de standaard stresstest voor hitte van het RIVM (Nijs et al, 2019). De benodigde datasets voor de voorspelling van de lokale buitentemperatuur zullen vergelijkbaar zijn als voor de hitte-stress-kaart. De belangrijkste databronnen zijn: Landgebruik; luchtfoto; AHN2 object en maaiveldhoogte; Bomenbestand; skyview-kaart; waterkaart; weerdata (uurbasis). Voor de hitte-stresstest wordt vooral de gevoelstemperatuur (PET) berekend, die relevant is voor het thermische comfort en gezondheidseffecten

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)