## c. Thermische massa (= thermische inertie)

Rekenen op thermische massa voor het zomercomfort is een mes dat aan twee kanten snijdt. Het heeft een positief effect in de zin dat thermische massa de warmte buffert en zo de temperatuur pieken afzwakt. Anderzijds zorgt het er ook voor dat de warmte veel langer vastgehouden wordt in het gebouw. Bovendien is het niet zo dat thermisch comfort in lichte gebouwen slechter is dan in gebouwen met veel massa, mits men buitenzonwering en intensieve natuurlijke nachtventilatie voorziet.

### Thermische massa als buffer

Elk materiaal is in staat om warmte en koude op te slaan, waardoor de temperatuur ervan zal verhogen of verlagen. Dit wordt gekenmerkt door de thermische massa (of thermische inertie) van het materiaal. Warmte die zich in de woning heeft verzameld, wordt tijdelijk gebufferd in de thermische massa van de woning. Op die manier kan de binnentemperatuur in de woning gestabiliseerd worden. Opdat een materiaal geschikt zou zijn als thermische buffer, moet het een zekere hoeveelheid thermische energie kunnen opslaan en deze over een zekere periode kunnen vasthouden. Materialen met een hoge thermische inertie zijn dus best geschikt als thermische buffer. Steen heeft bijvoorbeeld een veel hogere inertie dan hout.[21]

**Geleidbaarheid, soortelijke warmtecapaciteit, soortelijk gewicht, volumieke warmtecapaciteit en thermische diffusiviteit van een aantal materialen.**

| Materiaal | Geleidbaarheid $\lambda_i$ (W/mK) | Soortelijke warmtecapaciteit C (J/kgK) | Soortelijk gewicht ρ (kg/m³) | Volumieke warmtecapaciteit $c_v$ (kJ/m³K) (1) | Thermische diffusiviteit α (m²/s) (2) |
|---|---|---|---|---|---|
| Isolatie | < 0,04 | 1000 - 1030 | 26 - 59 | 26 - 60 | 0,7 - 1,5 |
| Gips | 0,52 | 1000 | 1300 | 1300 | 0,4 |
| Beton | 2,0 - 2,7 | 880 - 1000 | 2200 | 1936 - 2200 | 0,9 1,4 |
| Hout | 0,13 - 0,3 | 1880 | 600 | 1128 | 0,1 - 0,3 |
| Staal | 50 | 390 | 7800 | 3042 | 16,4 |
| Metselwerk | 0,29 - 0,69 | 1000 | 1500 | 1500 | 0,2 - 0,5 |

(1) De volumieke warmtecapaciteit stemt overeen met het product van de soortelijke warmtecapaciteit C en het soortelijk gewicht ρ; $c_v = C \cdot \rho$.
(2) De thermische diffusiviteit wordt berekend als volgt: $\alpha = \lambda / \rho \cdot C \cdot 10^6$.

Bron: L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2

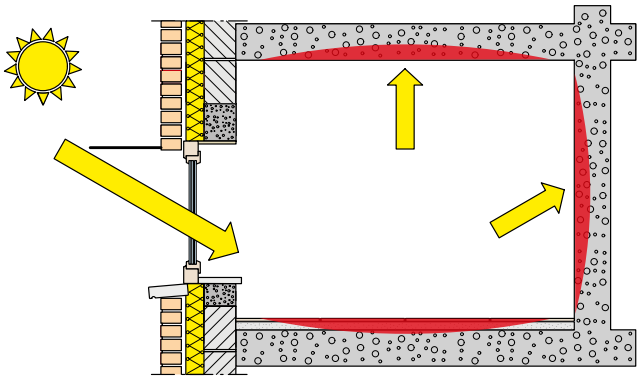
21 L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2 L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2

## Faseverschuiving

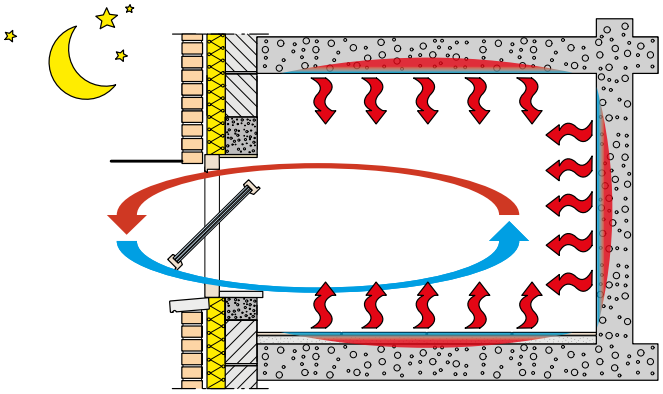
Een gebouwschil met een hoge thermische massa zorgt er ook voor dat warmte die van buiten naar binnen doorheen de verschillende materialen migreert, afgeremd wordt. Hoe groter de thermische massa, hoe trager de warmte de binnenzijde zal bereiken. Dit heet een faseverschuiving. De warmte bereikt idealiter de binnenzijde wanneer het buiten koeler is ('s nachts).

## Intensieve natuurlijke nachtventilatie

Tijdens de nacht, wanneer het buiten kouder wordt dan binnen, straalt de thermische massa van het gebouw de warmte opnieuw af naar binnen. Het is belangrijk om dan de ramen te openen om het gebouw te ventileren en de thermische massa af te koelen. Dit principe wordt aangeduid als intensieve natuurlijke nachtventilatie of free cooling (zie verder bij punt 5 – intensieve natuurlijke nachtventilatie / free cooling). Indien de ruimtetemperatuur tijdens de warme zomerdagen 's nachts te weinig daalt, zal de opgeslagen warmte onvoldoende vrijgegeven kunnen worden. Daardoor zal de temperatuur in de ruimte verder toenemen en zal het gunstige effect van de warmteopslag tenietgedaan worden. Een grotere thermische massa wordt op dat moment dus zelfs nadelig, omdat de warmte langer vastgehouden wordt in de woning en de woning dus minder snel zal afkoelen wanneer de hittegolf voorbij is.



**1 | Opslag van de thermische energie door de gebouwmassa**



**2 | Principe van de nachtkoeling**

Bron afbeelding: L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2

1) De thermische massa van het gebouw absorbeert overdag de warmte en draagt op die manier bij tot het stabiliseren van de binnentemperatuur.
2) 's Nachts wordt de warmte weer afgestraald door de thermische massa en dient men de ramen te openen om het gebouw te ventileren en de thermische massa af te koelen.

**Impact**

Het positieve effect van thermische massa op het zomercomfort moet zoals eerder gezegd gerelativeerd worden. De buffering van warmte in de thermische massa bij zware constructies vormt geen garantie op een goed zomercomfort. Andere ontwerpparameters, zoals de aanwezigheid van buitenzonwering of het 's nachts openen van ramen, hebben een veel belangrijkere invloed dan de thermische massa. Zo kan er in een lichte houtconstructie mits de juiste maatregelen (buitenzonwering, intensieve natuurlijke nachtventilatie) ook een goed zomercomfort gecreëerd worden Bovendien heeft elk nadeel zijn voordeel: woningen met weinig massa warmen sneller op, maar koelen bijgevolg ook sneller af in vergelijking met zware constructies. Bovendien kan het zelfs zijn dat een licht gebouw met beperkte ramen een kleinere koelvraag heeft dan een gelijkaardig zwaar gebouw met grote glaspartijen.[22]

## d. Groendaken

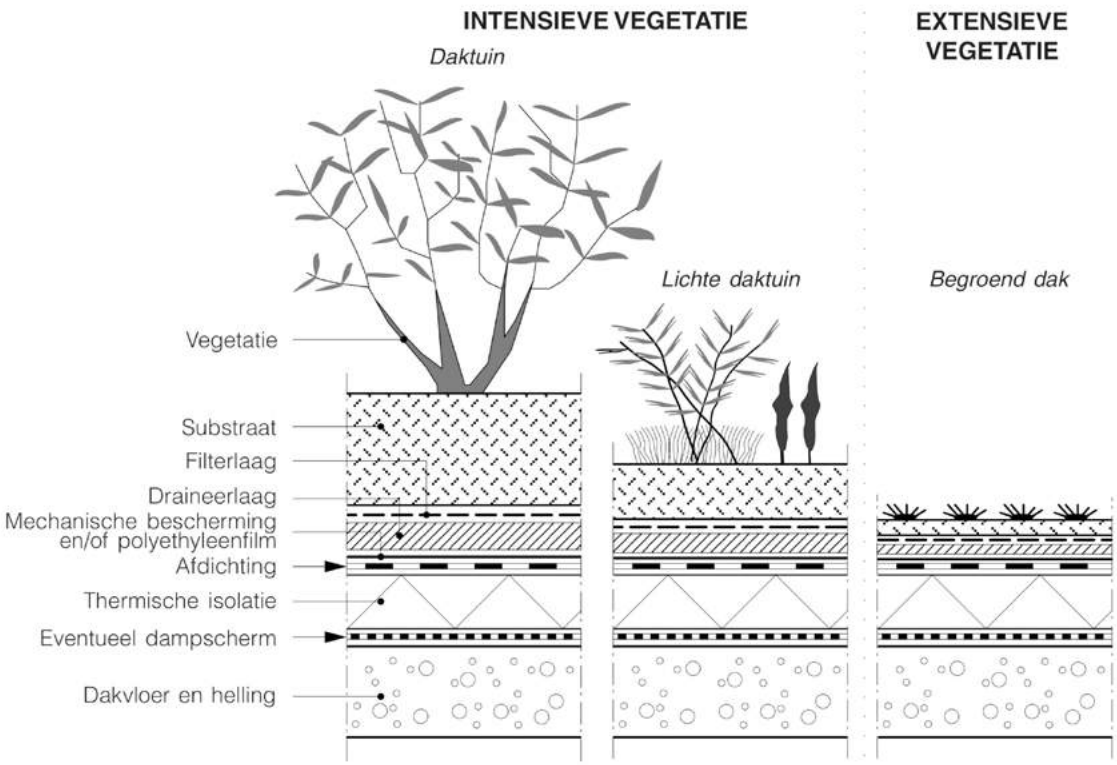
**Wat is een groendak?**

Groendaken zijn daken waarvan op de dakbedekking levende planten groeien. Er zijn twee types groendaken: extensief en intensief, afhankelijk van de soort beplanting. Hiervan bestaan er ook een heel aantal tussenvormen. De begroeiing op een extensief groendak bestaat uit mossen, sedum (vetkruiden), grassen en kruiden. Een extensief groendak vraagt weinig onderhoud. Intensieve groendaken worden ook daktuinen genoemd. De begroeiing bestaat uit grassen, kruiden, struiken of zelfs volwassen bomen. Dit systeem vereist een regelmatig onderhoud.

**Groendak**

22 Verbeke Stijn, Thermal Inertia in dwellings - Quantifying the relative effects of building thermal mass on energy use and overheating risk in a temperate climate, 2017

**Basiselementen groendak**




Bron afbeelding: www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/3-samenstelling.html?IDc=7441

## Invloed op oververhitting

Groendaken verminderen de warmtedoorslag doorheen het dak. Ten eerste is er minder directe zoninstraling op het dak, wat ervoor zorgt dat het oppervlak van het dak koeler blijft.

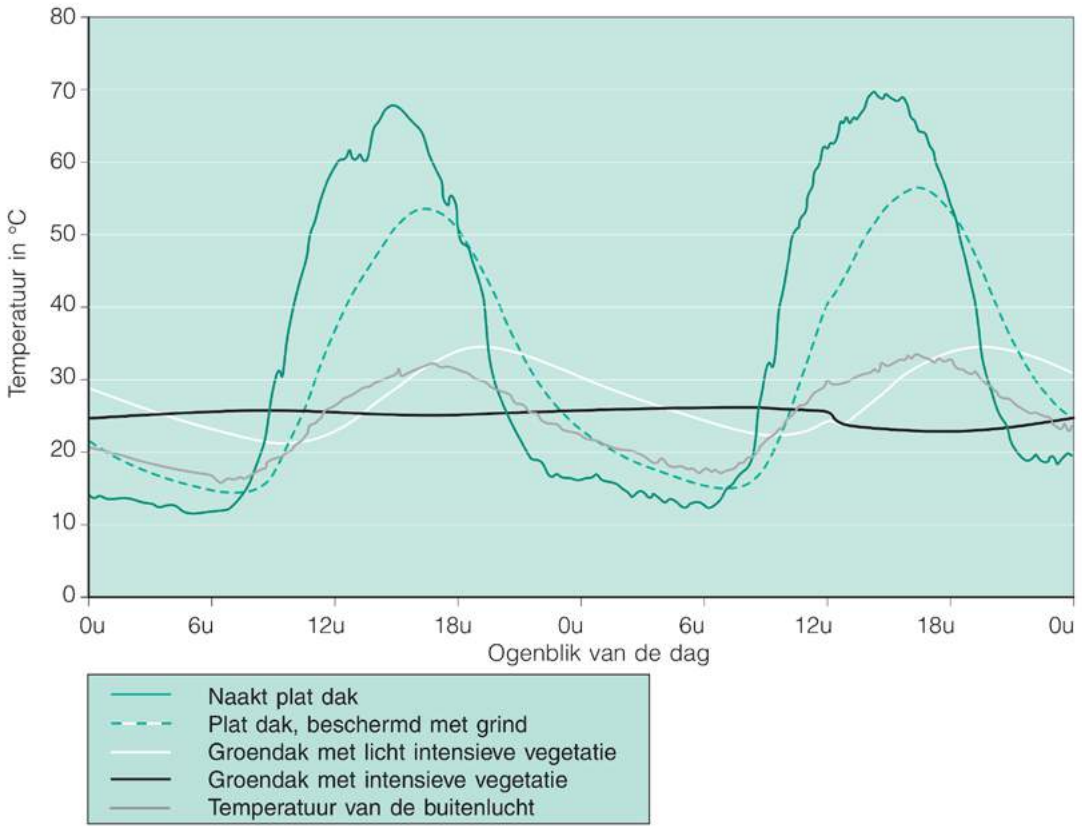
Verder zorgt evapotranspiratie van het vocht in de groene planten ervoor dat het dak afkoelt. Dit effect is het sterkst wanneer de planten best groeien, in de zomer dus. Door dit effect kan de temperatuur onder een niet-geïsoleerd extensief groendak in de zomer 3 tot 4 °C verlaagd worden.[23] Bij een goed geïsoleerd dak verlaagt een groendak de binnentemperatuur met 1 à 1,5°C.[24]

De aanwezigheid van thermische isolatie zorgt er dus voor dat de impact van het groendak op de binnentemperatuur verkleint. Dit komt omdat de isolatie ook al een effect heeft. Dit wil echter niet zeggen dat isolatie of een groendak geen zin hebben. Een goed geïsoleerd dak is zowel in de zomer als in de winter een prioriteit.

23 Getter, K. L.; Rowe, D. B., The role of extensive green roofs in sustainable development. Hortscience 2006, 41, (5), 1276-1285

24 Issa Jaffal, Sahal-Eddine Oulboukhitine, Rafik Belarbi (2011) A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy nr. 43, 2012, p. 157-164

**Temperatuurprofielen van het dichtingsmembraan in de zomer**




Source image: WTCB (2006) Technische Voorlichting 229 Groendaken. Brussel: WTCB

Deze verkoelende factor is natuurlijk enkel aanwezig zolang het groendak gezond is. Tijdens een lange periode van droogte kan het voorkomen dat het groendak onder stress komt. Dan drogen het substraat en de planten uit en is er geen vocht meer om te verdampen. Dit risico is het grootst bij extensieve daken met sedumbeplanting. Sedum onder stress vertoont een typische rode kleur. Het risico kan beperkt worden door de dikte van de substraatlaag te verhogen en een waterbuffer te voorzien. Het is belangrijk om de soortensamenstelling van een sedumdak te respecteren. In een extensief groendak dienen de meer vochtminnende planten verwijderd te worden, opdat de droogteminnende planten tijdens een droogteperiode nog voldoende waterreserve zouden overhouden.

## Andere voordelen

- ✓ Het regenwater wordt direct opgenomen en op het dak gebufferd. Dit zorgt voor een meer geleidelijke lozing van regenwater waardoor de rioleringsnetten minder overbelast worden en het risico op overstroming verkleint.
- ✓ De akoestische isolatie van het dak verhoogt.
- ✓ Verbetering van de luchtkwaliteit door het opvangen van fijn stof en vervuiling.
- ✓ Groendaken bevorderen de biodiversiteit.
- ✓ Op een groendak hebben zonnepanelen een hoger rendement.
- ✓ De levensduur van de dakdichting wordt verhoogd. Een groendak biedt bescherming tegen extreme temperaturen, UV-licht en hagelbuien.
- ✓ Op stedelijk niveau wordt het hitte-eilandeffect verzacht.
- ✓ Aangenaam om naar te kijken.

## Aandachtspunten

- ✓ **voldoende dikke substraatlaag:** in deze laag zijn de wortels van de planten verankerd en zijn water, voedingsstoffen en zuurstof aanwezig voor de planten. Een voldoende dikte is cruciaal voor de kwaliteit van het groendak (vooral bij extensieve groendaken). De substraatlaagdikte voor een sedumdak is best minimum 6 à 7 cm, voor een kruidendak minimum 10 à 15 cm. Ook de samenstelling van de substraatlaag is zeer belangrijk. In Duitsland is deze genormeerd door de FLL richtlijnen. In België bestaan dergelijke richtlijnen nog niet. Het is belangrijk dat een substraatlaag niet meer dan 10% organisch materiaal bevat.
- ✓ **waterbuffer**: zeer belangrijk voor de kwaliteit van een extensief groendak. Om te voorkomen dat het water te snel verdampt of wegvloeit, moet er een waterbuffer voorzien worden. Dit kan in de vorm van opvangbekertjes of opvangbakjes die geïntegreerd zijn in de drainagematten of -platen. Voor een sedumdak is de capaciteit van de waterbuffer minimum 35l/m², voor extensief kruidendak minimum 50l/m². Naarmate de substraatlaagdikte toeneemt (vanaf ca. 20 cm), wordt de bufferlaag minder cruciaal. Bij intensieve groendaken is dit dus niet nodig.
- ✓ Het dak moet **draagkrachtig** genoeg zijn om het gewicht van het groendak te kunnen dragen. Voor een extensief groendak mag je rekenen op 80 tot 200 kg/m² die extra op het dak komt. Voor een intensief groendak komt er minimum ca. 400 kg/m² bij. Afhankelijk van het gewicht, is het dus mogelijk dat er een aangepaste dakconstructie nodig is. Dit moet steeds berekend worden door een stabiliteitsingenieur.
- ✓ Niet elke **plant** mag op een groendak geplant worden. In TV229 van het WTCB staat een lijst met planten die moeten geweerd worden op een groendak, omdat de wortels de dakdichting kunnen doorboren naarmate ze groeien.[25] Onderhoud is dus belangrijk, want bepaalde onkruiden of boomscheuten die op het dak waaien kunnen ook op deze lijst staan.
- ✓ Bij **regenwaterrecuperatie** is het mogelijk dat het water verkleurt door het organisch materiaal van het groendak dat erin aanwezig is. Bij een goed evenwichtig substraat (maximaal 10% organisch materiaal, niet teveel compost) zou er in principe geen probleem mogen zijn voor regenwaterrecuperatie. Men ziet in de praktijk dat het regenwater dat afvloeit van groendaken vaak toch niet voldoende kwalitatief is, waardoor men het beter niet recupereert in de regenwaterput. Het kan ook opgelost worden door een actieve koolfilter te plaatsen op de aanzuigleiding in de regenwaterput. Deze elimineert geuren en verkleuringen van het water.
- ✓ **Kostprijs:** een groendak heeft uiteraard een meerprijs ten opzichte van een naakte dakbedekking of kiezelstenen.
- ✓ **Onderhoud:** een groendak vraagt minstens 1x per jaar onderhoud. Hoe intensiever de begroeiing, hoe meer onderhoud het groendak vraagt.
- ✓ Een groendak biedt **geen thermische isolatie** in de winter.[26] Er moet dus wel nog steeds een thermische isolatie geplaatst worden onder het groendak. Door de steeds langere droge zomers, worden groene daken steeds meer voorzien van een irrigatiesysteem. Een waterpunt om het dak vlot te bewateren is dus aan te raden.

25 TV229 WTCB p31

26 TV229

## e. Groene gevel

### Wat is een groene gevel?

Bij een groene gevel laat men planten groeien langsheen de buitengevel. Er bestaan 2 systemen: klimplanten en een systeem met gevelbakken. Bij klimplanten zitten de wortels van de planten in de volle grond bij de voet van het gebouw en klimmen ze omhoog langsheen de gevel, al dan niet met een hulpsysteem. Bij een systeem met gevelbakken groeien de planten in bakken die langs de gevel hangen. Dit kan ook met zakken of potten. Bij dit systeem is een irrigatiesysteem noodzakelijk.

### Invloed op oververhitting

Een groene gevel heeft een verkoelende werking op twee manieren. Enerzijds zorgen de planten voor schaduw op de gevel en is er dus geen directe instraling van de zon. Anderzijds wordt de geveltemperatuur verlaagd door de geventileerde luchtspouw achter de planten en door het koelend effect van de evapotranspiratie.

De impact van een groene gevel is sterk afhankelijk van de plantensoort, dikte van de begroeiing, type van groene gevel, de oriëntatie en de opbouw van de muur (o.a. aanwezigheid van isolatie) waarop de groene gevel groeit. Naarmate een gevel beter geïsoleerd wordt, zal de impact van de groene gevel verkleinen (analoog met groendak). Er is een onderzoek waaruit blijkt dat de binnentemperatuur zo'n 0,7 tot wel 4 à 8°C lager kan zijn door de aanwezigheid van een groen voor een ongeïsoleerde gevel. Dit onderzoek wees ook uit dat er geen temperatuurverschil bij een goed geïsoleerde gevel.[27] [28]

In een ander onderzoek lag de binnentemperatuur zo'n 3 à 4 °C lager door de aanwezigheid van gevelgroen.[29]

### Andere voordelen

- ✓ Hoewel groengevels net als groendaken geen thermisch isolerende werking bieden in de winter, wordt de gevel wel afgeschermd tegen de wind. Dit zorgt ervoor dat er minder warmteverlies is door convectie*.[30]
- ✓ Groengevels dragen bij aan een vermindering van het hitte-eilandeffect.
- ✓ Gevelgroen heeft een luchtzuiverende werking.
- ✓ Gevelgroen werkt als een regenscherm, waardoor de muur algemeen droger is.
- ✓ Gevelgroen draagt bij tot de biodiversiteit.

**Groene gevel**

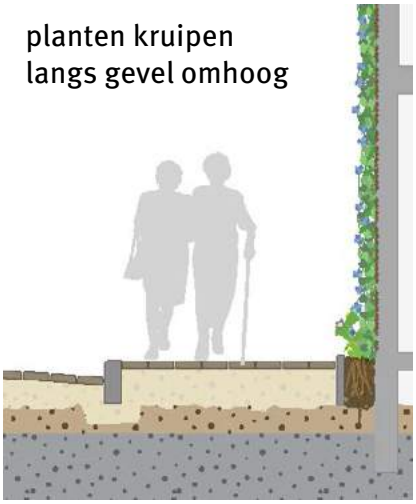
27 Kyra Koch, Roeland Samson, Siegfried Denys, Groen bouwen: groene gevels voor duurzame gebouwen en steden, agentschap innoveren en ondernemen, 2019

28 Ottelé M.,Perini, Comparative experimental approach to investigate the thermal behavior of vertical greened facades of buildings, TU Delft, 2017.

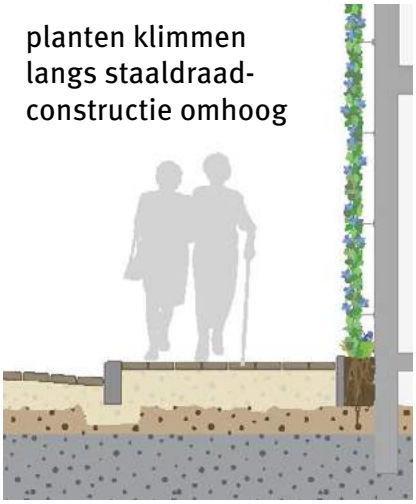
29 Tabassom S., Aminatuzuhariah M.A., Dilshan R.O., Mohammad B., Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems, Universiti Teknologi Malaysia, 2014

30 Infofiche bouwadvies 07.01: Groene gevels, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

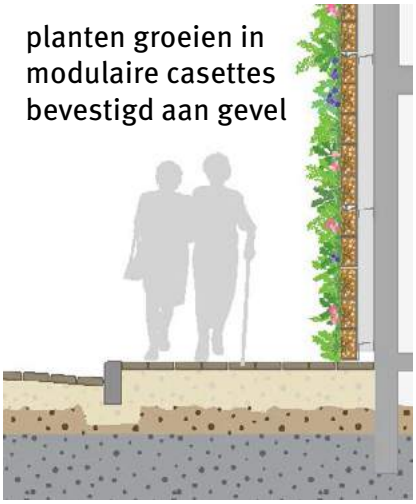
## verschillende types van groene gevels




Bron: Atelier GROENBLAUW




Bron: Atelier GROENBLAUW




Bron: Atelier GROENBLAUW

## Aandachtspunten/nadelen

- ✓ De gevel moet in goede staat zijn. Indien er spleten of barsten zijn, kan dit door bepaalde beplanting verergeren. Het gevelgroen wordt dus best met aandacht gekozen.
- ✓ Er is regelmatige snoei nodig.
- ✓ Bij een systeem met gevelbakken, -zakken of -potten moet er een irrigatiesysteem voorzien worden.
- ✓ Het is belangrijk om groeibegrenzers te plaatsen, zodat de planten niet tussen dakranden e.d. kunnen groeien.

# 4. Interne warmtewinsten reduceren

*Het oververhittingsprobleem kan ook van binnenin de woning komen, al is het meestal in beperkte mate voor woningen. Elektrische toestellen verbruiken stroom en geven warmte af. Apparaten die niet in gebruik zijn schakel je dus beter uit, bijvoorbeeld een computer. Toestellen in stand-by worden beter ook volledig uitgeschakeld.*

Er wordt ook best gekozen voor energiezuinige huishoudtoestellen, want die geven minder warmte af. De vuistregel is: hoe lager het verbruik, hoe minder warmte er wordt afgegeven. De meeste ongewenste warmteproductie komt van de diepvriezer en de droogkast. Vaatwasser en koelkast produceren ook warmte, maar iets minder. Let op met halogeenlampen: die verbruiken veel stroom en geven veel warmte af. Beter is het om te verlichten met ledlampen.

De productie en distributie van warm water geven ook warmte af. Je kan hiervoor alle onderdelen (leidingen, opslagvat, ...) gaan isoleren, maar omwille van legionella is dit niet aan te raden voor de leidingen. Je kan wel het opslagvat isoleren en zo de warmteafgifte beperken. De gaswandketel zet je best in eco-modus in plaats van de comfortstand. In comfortstand wordt er een intern watervat constant op temperatuur gehouden, waardoor je een permanente warmte-afgifte naar de omliggende ruimte hebt. Met de ecostand zal het na een nacht slapen iets langer duren voor er warm water uit de kraan komt. Er loopt dan iets meer water weg. Maar voor het milieu en je portemonnee is dat ruimschoots te verkiezen boven extra gasverbruik en de ongewenste warmte.

De locatie van de apparaten heeft ook een invloed. Zo kan je ze clusteren in ruimtes waar opwarming minder hinder veroorzaakt, bv. een zolder waar niet gewoond wordt, een garage of berging buiten het beschermd volume, ...

# KOELTECHNIEKEN

*Het is van cruciaal belang dat de warmte in de woning ook weer geëvacueerd wordt. Dit gebeurt het efficiëntst via intensieve natuurlijke nachtventilatie. Passieve koeltechnieken, waarbij geen of slechts een beperkte hoeveelheid energie moet toegevoegd worden, zijn energetisch gezien het meest interessant.*

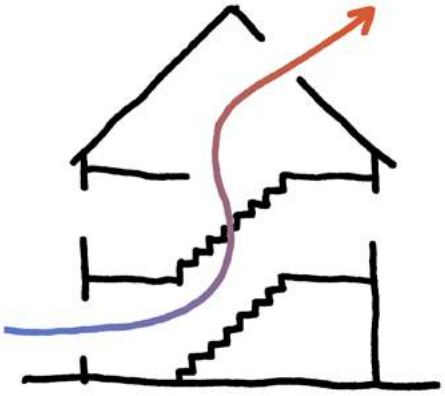
Er kan beperkt gekoeld worden door passieve koeling toe te passen op het ventilatiesysteem, door het voorkoelen van de toevoerlucht via de grond (aardwarmtewisselaar of bodemwarmtewisselaar) of door middel van verdamping (adiabatische koeling). Verder kan je ook passief koelen met een geothermische warmtepomp. Passieve koeltechnieken hebben slechts een beperkt effect. Deze pas je best steeds toe in combinatie met bouwkundige maatregelen om de hitte buiten te houden, in het bijzonder alle beglazing op het oosten, zuiden en westen voorzien van zonwering. Actief koelen met een airco is het meest effectief om de binnentemperatuur te doen dalen, maar het nadeel is een veel groter energieverbruik en is omwille daarvan af te raden. Een ventilator is dan efficiënter om het comfort te verhogen. Het doet de temperatuur niet dalen, maar creëert wel plaatselijk een verkoelend effect op de huid door het verplaatsen van de lucht.

## Samenvattende tabel maatregelen koeltechnieken

| MAATREGEL | STRATEGIE | VOORBEELDEN | TOEPASSING NIEUWBOUW | TOEPASSING RENOVATIE | IMPACT |
|---|---|---|---|---|---|
| **5. Intensieve natuurlijke nachtventilatie / free-cooling** | Gebruik maken van de koelere temperatuur 's nachts om de opgeslagen warmte in de woning af te voeren. | ✓ ramen openzetten | ja | ja, indien geen inbraakrisico | noodzakelijk om een goed zomercomfort te creëren |
| | | ✓ ventilatiesysteem C of D | ja | ja, indien ventilatiesysteem C of D aanwezig | Effect veel kleiner dan openzetten van ramen, beperkt door het debiet van het ventilatiesysteem |
| **6. Passief koelen via ventilatie** | Ventilatielucht passief voorkoelen via grond of verdamping | ✓ systeem van warmteterugwinning<br>✓ lucht-aardwarmtewisselaar<br>✓ bodemwarmtewisselaar met koelvloeistof<br>✓ adiabatische koeling | ja | ja, indien ventilatiesysteem D aanwezig | Beperkt door het debiet van het ventilatiesysteem en de temperatuur van de grond - volstaat niet op zich, kan wel als aanvulling op andere maatregelen tegen oververhitting |
| **7. Passief koelen met geothermische warmtepomp** | De woning koelen d.m.v. een lagetemperatuursysteem waarin het water gekoeld wordt d.m.v. een geothermische warmtepomp. | | ja, indien ruimte voor grond-boringen | mogelijk, maar ingrijpend indien er nog geen afgiftesysteem op lage temperatuur aanwezig is | Beperkt - watertemperatuur mag niet lager zijn dan 18°C om condens op de vloer te vermijden - steeds in combinatie met zonwering en intensieve natuurlijke nachtventilatie |
| **8. Actief koelen met een ventilator** | Een plaatselijk verkoelend effect creëren op de huid door het verplaatsen van de lucht | | ja | ja, geen bouwkundige impact | Verhoogt plaatselijk het comfort, verbruikt minder elektriciteit dan een airco, maar de voorkeur gaat wel nog steeds naar het vermijden dat de hitte binnenkomt dan actief koelen |
| **9. Actief koelen met een warmtepomp ("airco")** | De woning koelen d.m.v. een lagetemperatuursysteem waarin het water gekoeld wordt d.m.v. de compressor van de warmtepomp. | | ja | mogelijk, maar ingrijpend indien er nog geen afgiftesysteem op lage temperatuur aanwezig is | Efficiënt als koeling, maar gaat gepaard met groot energieverbruik (en daarom eerder af te raden) |

# 5. Intensieve natuurlijke nachtventilatie / free-cooling

**principe van nachtventilatie**



Bron: eigen illustratie

## Wat is intensieve natuurlijke nachtventilatie?

Overdag, wanneer het in de zomer buiten warmer is dan binnen, hou je de warme lucht best zoveel mogelijk buiten door ramen en deuren gesloten te houden. 's Nachts wordt het dan meestal buiten frisser dan binnen. Dan is het belangrijk om de warmte die zich binnen heeft opgehoopt, te evacueren. Dit kan door de ramen open te zetten. Het best worden er ramen opengezet die zich tegenover elkaar bevinden. Als er twee ramen in tegenovergestelde gevels openzet worden, zal de woning meer verluchten dan met ramen die zich in dezelfde gevel bevinden. Dit zal echter niet altijd lukken, in appartementsgebouwen bijvoorbeeld. Indien mogelijk wordt ook de hoogte van de woning benut door de ramen op de hogere verdiepingen of zelfs op zolder open te zetten, om extra trek te creëren. Dit wordt schouweffect genoemd.

Indien de woning over een mechanisch ventilatiesysteem beschikt dat bedoeld is om de luchtkwaliteit in de woning op peil te houden, moet er rekening mee gehouden worden dat die doorgaans niet op maximaal vermogen werkt, maar op bv. 1/3, wat de impact ervan voor koeling beperkt. Eventueel kan de ventilatiesnelheid tijdelijk verhoogd worden, maar dit zal niet volstaan om de woning goed af te koelen. Zelfs als een ventilatiesysteem op maximum debiet draait, zal het ventilatievoud* dat behaald wordt via opengaande ramen veel hoger zijn. 's Nachts volop natuurlijk ventileren via geopende ramen is dus een noodzaak.

Het voorzien van een intensieve natuurlijke ventilatie door het openen van de ramen kost geen energie. Het is wel afhankelijk van de windrichting en kan in bepaalde gevallen uitgesloten zijn, bv. met het oog op de inbraak- en brandveiligheid of omwille van de luchtkwaliteit of lawaai.

In deze gevallen kan men ervoor kiezen om een intensieve mechanische ventilatie toe te passen. Men dient echter wel te waken over het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren en men moet ervoor zorgen dat er geen geluidsoverlast is. Er bestaan ook nachtkoelingsroosters, die je inbraakveilig kan openzetten.

**Nachtkoelingsrooster**

Uit een proefopstelling van het WTCB blijkt dat een intensieve nachtelijke ventilatie de gemiddelde binnentemperatuur tot ca. 3 à 4°C naar beneden kan halen ten opzichte van de situatie zonder intensieve natuurlijke nachtventilatie.[31] De impact is dus significant voor een goed zomercomfort.

**Gebruikersgedrag**

Ook hier speelt het gebruikersgedrag een belangrijke rol. Uit onderzoek blijkt dat veel mensen hun ramen permanent laten openstaan tijdens warme dagen en dat er geen specifieke correlatie is tussen het raamopeningsgedrag en de buitentemperatuur.[32] In het ideale geval moeten de ramen zoveel mogelijk dicht gehouden worden op momenten dat het buiten warmer is dan binnen. Wanneer het buiten frisser wordt dan binnen, moeten de ramen net zoveel mogelijk geopend worden zodat de opgestapelde warmte kan afgevoerd worden (intensieve natuurlijke nachtventilatie).
Wat ook interessant kan zijn, is om te gaan voorkoelen wanneer er een hittegolf voorspeld wordt. Op die manier kan de thermische massa van de woning al voorgekoeld worden en is ook de starttemperatuur van de dag lager. Dit werkt vooral in het tussenseizoen, wanneer het 's nachts goed afkoelt.

## a. Schouweffect

Het natuurlijke schouweffect is de opwaartse beweging van de binnenlucht in een gebouw of een koker, doordat deze lucht warmer is en dus lichter dan de buitenlucht. Die beweging zorgt voor de aanzuiging van verse lucht onderaan in het gebouw of de koker en stuwt de warme lucht aan de bovenkant naar buiten. Een schouweffect is mogelijk op schaal van een enkel venster, een gevel of van een volledig gebouw. De doeltreffendheid van het schouweffect hangt af van het volume, het verschil in temperatuur tussen de binnenkomende en de uitgaande lucht alsook van de afstand tussen luchttoevoer en -afvoer. Deze luchtverplaatsing is sterker wanneer het temperatuurverschil tussen binnen en buiten groter is (en werkt dus hoofdzakelijk 's nachts) en naarmate het hoogteverschil tussen de openingen voor luchttoevoer en luchtafvoer groter is. Vooral in rijwoningen kan het schouweffect dus interessant zijn, omdat deze woningen doorgaans hoog zijn in vergelijking met het totale volume. Het schouweffect kan simpelweg gecreëerd worden door een dakraam open te zetten in combinatie met open ramen op een lager gelegen verdieping. Het dakraam zit dan best zo hoog mogelijk.

## b. Mechanisch ventilatiesysteem

Op een warme dag hou je best de warmte zoveel mogelijk buiten. Ons ventilatiesysteem brengt echter de noodzakelijke verse lucht binnen, d.w.z. warme lucht die onze woning opwarmt. De twee basisventilatiesystemen (C en D) hebben een verschillende strategie om hiermee om te gaan. Ook 's nachts moeten maatregelen genomen worden om intensieve nachtventilatie mogelijk te maken. Zoals eerder vermeld (punt 5 – Intensieve natuurlijke nachtventilatie / free cooling - wat is intensieve natuurlijke nachtventilatie?) volstaat een mechanisch ventilatiesysteem alleen niet om een voldoende debiet voor intensieve nachtventilatie te behalen. Ramen openzetten blijft dus een noodzaak.

31 O. Gerin, G. Flamant, N. Heijmans (2010) Warmtecapaciteit van isolatiematerialen en risico op oververhitting. WTCB-dossier 2010/3, katern 6

32 "De rol van gebruikersgedrag in zomercomfort" presentatie Pixii expert day zomercomfort 8/10/2020, Silke Verbruggen, Universiteit Gent

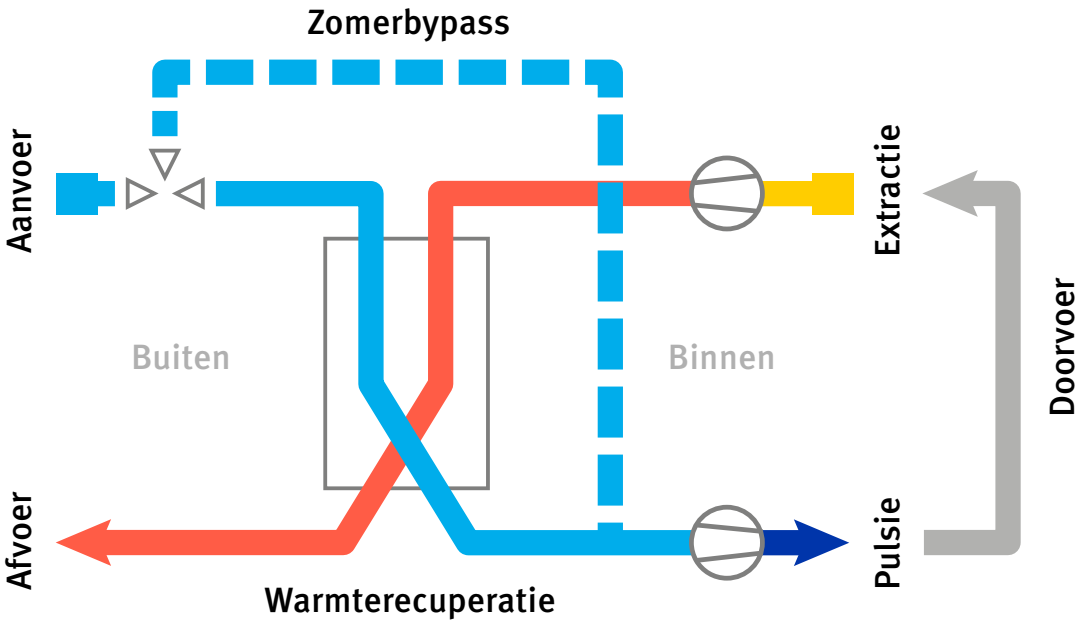
## Ventilatiesysteem D

Bij een ventilatiesysteem D gebeuren zowel de toevoer als de afvoer van lucht mechanisch. Een warmtewisselaar kan de warme toevoerlucht iets voorkoelen met de koelere afvoerlucht van binnen. Warmteterugwinning op de ventilatie is dus niet alleen een voordeel in de winter, maar ook in de zomer.

✓ Automatische zomerbypass

’s Nachts of wanneer het buiten opnieuw frisser wordt dan binnen, willen we niet dat onze koele toevoerlucht wordt opgewarmd door de warme afvoerlucht. Warmteterugwinning is op dat moment dus niet gewenst. Een ventilatiesysteem D met warmteterugwinning is daarom best voorzien van een automatische zomerbypass. Dit toestel meet de verschillende in- en uitgaande luchttemperaturen. Wanneer de toevoerlucht binnen een bepaald interval ligt (bv. tussen 18 en 25°C), zal de toevoerlucht niet doorheen de warmtewisselaar gaan, maar deze omzeilen en rechtstreeks naar de toevoerkanalen gaan. Er bestaan ook toestellen met een handmatige zomerbypass, maar dit heeft als nadeel dat je er zelf aan moet denken wanneer het goede moment er is om hem in of uit te schakelen. De positie van de luchtaanvoer is erg belangrijk. Dit doe je best niet op het dak (te warm in de zomer, te koud in de winter). Een goede plaats is een van de gevels, maar niet de zuidgevel.

**Het principe van een zomerbypass bij een ventilatiesysteem D**




Bron: Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 2: Wat is de impact van technieken? De Koevoet nr. 188, herfst 2019, p 44-50

## Ventilatiesysteem C

Bij een ventilatiesysteem C gebeurt de toevoer van verse lucht natuurlijk en de afvoer van vervuilde lucht mechanisch. Er wordt best gekozen voor een vraaggestuurd systeem. Hierdoor is de toevoer van warme lucht heel beperkt op de momenten dat verluchting niet noodzakelijk is.

‘s Nachts willen we ook met een ventilatiesysteem C de warmte die binnen opgeslagen werd, afvoeren. Een vraaggestuurd systeem C heeft dus best een functie die de luchttemperatuur meet en indien nodig de vraagsturing (tijdelijk) uitschakelt en overgaat op het maximale ventilatiedebiet. Dat kan je ook zien als een soort van bypass die de vraagsturing omzeilt.

## Ramen opzetten?

Het betekent echter niet dat we geen ramen meer moeten openzetten om ‘s nachts de warmte weg te ventileren. Deze technieken zijn eerder een aanvulling op intensieve nachtventilatie via opengaande ramen. Zelfs het maximale ventilatiedebiet blijft meestal te laag om ’s nachts voldoende warmte af te voeren. Plaats je bijvoorbeeld een ventilatietoestel (systeem D) met een maximaal debiet van 300 $m^3/h$ in een woning van 600 $m^3$, dan zal je op de hoogste ventilatiestand een ventilatievoud creëren van 0,5 per uur. Dat betekent dat het volume van de woning om de 2 uur volledig wordt ververst. Door het openen van ramen behaal je ventilatievouden tot 3 à 4 per uur, bij voldoende grote raamopeningen en voldoende hoogteverschil tussen de opengaande ramen. Met het ventilatiesysteem duurt het dus meestal te lang om de in de woning opgeslagen warmte af te voeren. Door ’s nachts ramen te openen, gaat het sneller en efficiënter. Een ventilatiesysteem kan wel nog steeds nuttig zijn wanneer er ramen open staan, bv. in een ruimte of op een verdieping waar er geen inbraakveilige raamopeningen zijn. Op een gelijkvloerse verdieping met enkel deuren en schuiframen moet je ’s nachts noodgedwongen alles sluiten. Op deze verdieping zal de warmte dan enkel afgevoerd worden door het ventilatiesysteem (C of D). Dus blijft de ventilatie aan, ter aanvulling van de intensieve natuurlijke ventilatie via opengaande ramen.[33]

33 Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 2: Wat is de impact van technieken? De Koevoet nr. 188, herfst 2019, p 44-50

# 6. Passief koelen via ventilatie

*De verse aanvoerlucht van het ventilatiesysteem kan voorgekoeld worden met behulp van een aardwarmtewisselaar of bodemwarmtewisselaar. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de bodem, die koeler is dan de buitenlucht. Een aardwarmtewisselaar of bodemwarmtewisselaar moet worden beschouwd als een aanvulling op een ventilatiesysteem met dubbele stroom en warmterecuperatie (systeem D). Maar hij kan dat systeem niet vervangen. Een warmtewisselaar op de ventilatielucht (systeem D) biedt de mogelijkheid om 80% van de verloren energie door verluchting te recupereren, wat veel meer is dan een aard- of bodemwarmtewisselaar. Ook hier is een bypass langs het warmterecuperatiesysteem in de ventilatie-unit noodzakelijk. Men moet 's nachts voorkomen dat de koelere aanvoerlucht weer onnodig opgewarmd wordt door de warmere afgevoerde lucht.*

## a. Lucht-aardwarmtewisselaar of AWW

**Hoe werkt het?**

Bij een mechanisch ventilatiesysteem (systeem D) kunnen we passief koelen door gebruik te maken van een aardwarmtewisselaar of lucht-aardwarmtewisselaar (ook wel Canadese put genoemd). Dit is een waterdichte ventilatiebuis die ingegraven wordt in de de bodem. De ventilatielucht passeert rechtstreeks doorheen de warmtewisselaar (de ventilatiebuis) in de bodem. De warme lucht geeft via de buiswand zijn warmte deels af aan de bodem. Hierdoor koelt de lucht af voor ze binnenkomt in het ventilatiesysteem.

**Impact**

Door een aardwarmtewisselaar aan te sluiten op de ventilatie-unit kunnen we de verse lucht voorkoelen. Dit heeft een verkoelend effect, maar dat kan omwille van het lage ventilatiedebiet niet vergeleken worden met de koeling door een airco. Er zijn ook andere mogelijkheden. Indien er bijvoorbeeld geen tuin is, kan ook een kelder fungeren als 'grondbuis'.

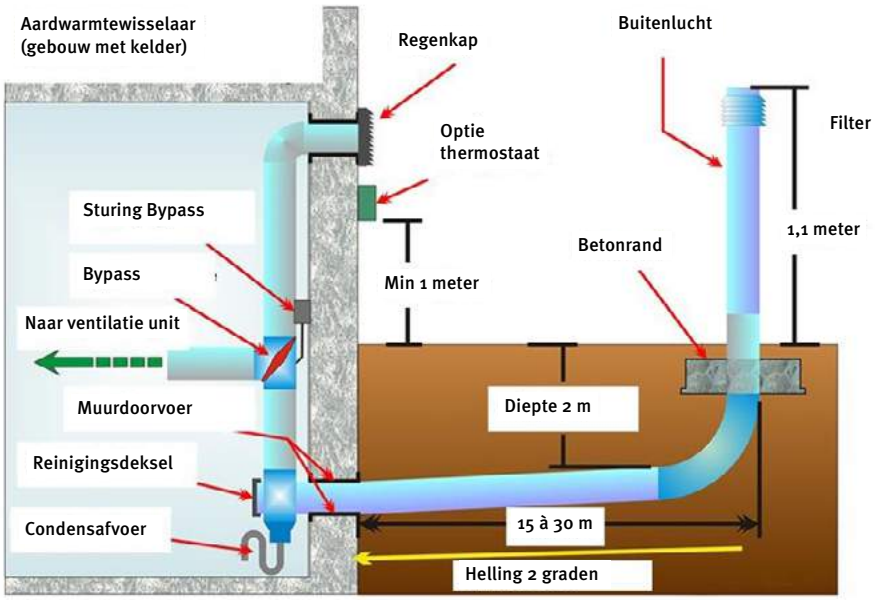
## Aandachtspunt: luchtkwaliteit

Men moet ervoor zorgen dat de kwaliteit van de lucht niet verslechtert door de doortocht door de aardwarmtewisselaar. In de zomer kan er in bepaalde omstandigheden condensatie optreden in een AWW. Daarom moet een AWW steeds aangelegd worden met een helling van minstens 2% die uitloopt op een putje voor de evacuatie van het eventuele condensatievocht. Aan de ingang moeten er filters komen tegen insecten en pollen, en het systeem moet ook waterdicht zijn. Een regelmatig onderhoud van de filters (3 à 6 maanden) zal zorgen voor een betere luchtkwaliteit en een lager energieverbruik. De aanzuigopening met filter voorziet men best op een plaats met een goede luchtkwaliteit. Men zal er dus de voorkeur aan geven om lucht te nemen achter in de tuin in plaats van voor het huis aan de straat bijvoorbeeld (niet in de buurt van vuilnisopslag, parkeerruimte enz.).

## Ook in de winter

Dit systeem kan ook omgekeerd gebruikt worden in de winter. De bodem is dan warmer dan de buitenlucht. Ventilatielucht kan dus voorverwarmd worden via de AWW.

**Het principe van een lucht-aardewarmtewisselaar**




Bron: Infofiche bouwadvies 6.05: de aardwarmtewisselaar. Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

## b. Bodemwarmtewisselaar (BWW) - koelvloeistof in grond

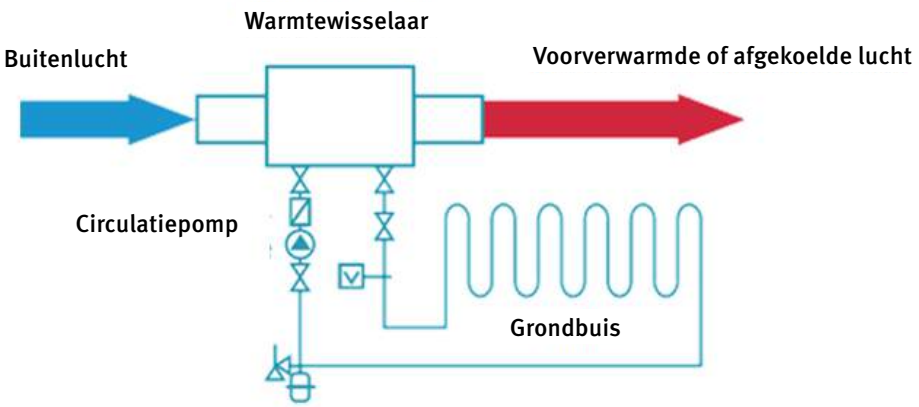
**Hoe werkt het?**

Een bodemwarmtewisselaar (BWW) of glycolwater-aardwarmtewisselaar is een buis gevuld met een vloeistof (vaak een mengsel van water en glycol) die ingegraven wordt in de bodem. Deze vloeistof neemt de temperatuur van de bodem aan en geeft zijn temperatuur af aan de ventilatielucht via een warmtewisselaar. In tegenstelling tot een AWW stroomt de ventilatielucht bij een BWW niet door de grondbuis. Hierdoor hoeft een BWW niet hellend te liggen en is er ook geen onderhoud nodig.

**Impact**

De impact van een bodemwarmtewisselaar is vergelijkbaar met de aardwarmtewisselaar.

**Het principe van een bodemwarmtewisselaar**




Bron: Infofiche bouwadvies 6.05: de aardwarmtewisselaar, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

## c. Adiabatische koeling

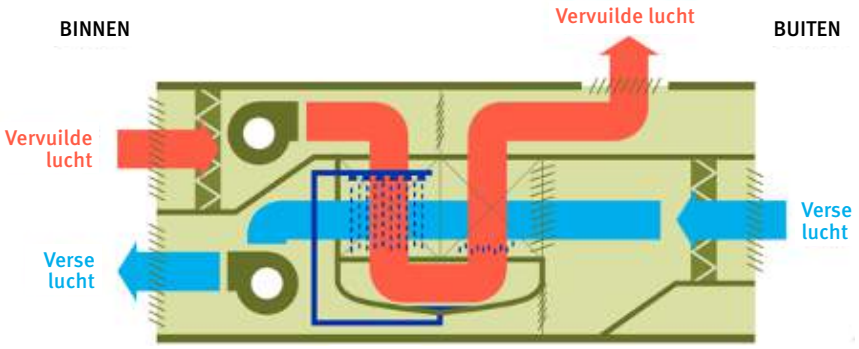
**Hoe werkt het?**

Adiabatische koeling is een andere manier om passief te koelen via het ventilatiesysteem D. Deze manier steunt op het principe dat er om water te verdampen energie (warmte) nodig is. De warme toevoerlucht wordt door een waternevel bevochtigd en koelt af doordat er warmte onttrokken wordt voor de verdamping. Je hebt directe en indirecte koelsystemen bij adiabatische koeling. Bij directe koeling wordt het vrijgekomen vocht in de te koelen ruimte afgevoerd, wat dus een hoge relatieve vochtigheid als gevolg heeft. Dit kan benauwend aanvoelen, vooral astmapatiënten hebben hier last van. Vandaar dat indirecte systemen meer aangewezen zijn in ruimtes waar voor comfortdoeleinden wordt gekoeld.

Bij indirecte adiabatische koeling werkt men met een tweede gescheiden luchtstroom, die de toevoerlucht afkoelt via een warmtewisselaar.

Als de adiabatische module juist is gedimensioneerd, is het extra elektriciteitsverbruik te verwaarlozen. Dat geldt ook voor het waterverbruik, waarvoor gerecupereerd regenwater kan worden gebruikt. Deze koeltechniek wordt momenteel nog vooral in tertiaire gebouwen toegepast (kantoren, scholen, ...).

**Het principe van adiabatische koeling**




Bron: Bert Vandenwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 2: Wat is de impact van technieken? De Koevoet nr. 188, herfst 2019, p 44-50

# 7. Passief koelen met geothermische warmtepomp

## Hoe werkt het?

Passief koelen met een warmtepomp is alleen mogelijk met een geothermische warmtepomp. Koeling met een lucht-water- of lucht-luchtwarmtepomp is steeds actieve koeling. Bij passieve koeling maakt het systeem gebruik van koelte die in de bodem opgeslagen is. Hierbij wordt de compressor van de warmtepomp uitgeschakeld en werkt enkel de circulatiepomp om het koele water doorheen het buizennet te laten circuleren. Dit is dus een heel energiezuinige manier van koelen, enkel de circulatiepomp verbruikt wat elektriciteit. Een bijkomend voordeel van passief koelen, is dat de warmte uit het gebouw wordt gestockeerd in de bodem. Daarmee kan je in de winter het gebouw weer verwarmen. Hierdoor zal het rendement van een geothermische installatie stijgen in het stookseizoen.

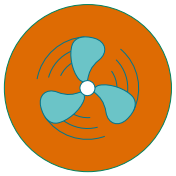
## Effect

Het koelvermogen van passieve koeling is eerder beperkt, een daling van zo'n 2 tot 4°C. In de meeste gevallen volstaat dit wel als er ook voldoende aandacht wordt besteed aan de bouwkundige maatregelen om oververhitting te voorkomen, bv. een zonwering. Het afgiftesysteem is hetzelfde als bij verwarming met een warmtepomp: een lage-temperatuurverwarming via oppervlakteverwarming (vloer-, wand- of plafondverwarming) of via ventilo-convectoren. Bij vloerverwarming moet je er rekening mee houden dat de watertemperatuur niet lager mag zijn dan 18°C, anders krijg je condensatie op de vloer.

## Voordelen en nadelen

Door deze manier van werken kan het gebouw in de zomer op efficiënte wijze gekoeld worden en kan het aan het gebouw onttrokken warmteoverschot in de bodem gebufferd worden. De aldus opgeslagen warmte kan tijdens de winterperiode via de warmtepomp opnieuw aan het gebouw afgegeven worden wanneer er behoefte aan is. Het grootste nadeel is de hoge initiële investeringskost van een geothermische warmtepomp. Hiertegenover staan wel de lage verbruikskosten en de lange levensduur van de warmte-/koudebron.

# B. Actieve koeling



## 8. Ventilator

Het thermisch comfort wordt bepaald door vier parameters: de lucht- en de stralingstemperatuur, de luchtvochtigheid en de luchtsnelheid. Een airco verlaagt de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid. Een ventilator manipuleert alleen de luchtsnelheid en heeft geen enkel effect op de luchttemperatuur of de luchtvochtigheid. Maar het verhogen van de luchtsnelheid is zeer effectief: het warmteverlies via evaporatie (verdampend vocht op de huid) neemt toe met het kwadraat van de luchtsnelheid. Een ventilator levert dus comfort bij hogere luchttemperaturen. Dat is veel efficiënter, want het in beweging brengen van lucht kost veel minder energie dan het koelen ervan.

Het grote voordeel van een ventilator is dat je er heel plaatselijk mee kan koelen, terwijl een airco per definitie alle lucht in de ruimte moet koelen. Met ventilatoren kan elke persoon in de ruimte afzonderlijk worden gekoeld. Bovendien geeft een ventilator onmiddellijke verkoeling, terwijl je met een airco een tijdje moet wachten tot de koeling effectief voelbaar is.

Een airco en een ventilator kunnen ook samengaan. Door het gebruik van een ventilator kan de temperatuur van de airco wat hoger waardoor het energieverbruik daalt. Als bijvoorbeeld de airco dankzij het gebruik van ventilatoren 5°C hoger kan worden gezet, besparen we 35 tot 50 % energie (rekening houdend met energieverbruik van de ventilator). Kunnen we de airco helemaal vervangen door een (energiezuinige) ventilator, dan kunnen we zelfs minstens 90 % energie besparen. Ventilatoren bestaan in verschillende soorten: de staande, verplaatsbare ventilatoren en de bij ons minder bekende plafondventilatoren. Het koelend effect van een staande ventilator kan je nog vergroten door er een bak ijs of flessen met bevroren water voor te plaatsen waardoor de rondgeblazen lucht afkoelt.[34]

34 www.lowtechmagazine.be/2014/09/ventilator-minstens-tien-keer-efficienter-dan-airco.html

# 9. Actief koelen met een warmtepomp (“airco”)

## Hoe werkt het?

Zoals eerder vermeld (punt 8 - Passief koelen met geothermische warmtepomp), kan je met een geothermische warmtepomp passief koelen door enkel de circulatiepomp in te schakelen en niet de compressor. Wanneer de compressor van de warmtepomp wel wordt ingeschakeld, spreken we van actieve koeling. Actieve koeling kan met een lucht-water of een lucht-lucht warmtepomp. Er is een buitenunit nodig die de warmte die onttrokken werd aan de binnenlucht afgeeft aan de buitenlucht.

## Lucht-waterwarmtepomp

Net zoals een bodem-water warmtepomp (bij passieve koeling), wordt een lucht-waterwarmtepomp bij actieve koeling gecombineerd met vloerverwarming en/of ventilo-convectoren. Een aandachtspunt bij ventilo-convectoren voor actieve koeling is het voorzien van een condensafvoer en dampdichte isolatie voor alle leidingen (omdat er anders condens ontstaat op de leidingen). Bij ventilo-convectoren heb je met actieve koeling via een lucht-water warmtepomp een groter koelvermogen dan met passieve koeling via een bodem-water warmtepomp. Actief koelen kan ook met vloerverwarming. Ook hier is het koelvermogen dan beperkt door het afgiftevermogen en door het dauwpunt* van de vloerverwarming. Het verschil in koelvermogen is dan ongeveer gelijk ten opzicht van passieve koeling via vloerverwarming, maar er is wel een hoger elektriciteitsverbruik.

## Lucht-luchtwarmtepomp of airco

Een lucht-lucht warmtepomp die actief koelt, kennen we als een airco. De koelte wordt hierbij verspreid via de lucht. In de unit wordt de lucht ook ontvochtigd, wat ook een comfortvoordeel oplevert. Een lucht-lucht warmtepomp heeft het grootste koelvermogen. Sommige mensen vinden het evenwel niet comfortabel. Om het elektriciteitsverbruik zo laag mogelijk te houden, moet er rekening gehouden worden met een aantal zaken. Zo wordt er best gekozen voor een zogenaamde ‘topkoeling’ (d.w.z. een systeem voor het koelen van gebouw met als doel het afvlakken van de temperatuurtoppen in het dagelijkse temperatuurverloop). Het verschil tussen buiten- en binnentemperatuur is dus best niet groter dan 5°C. De locatie van de buitenunit is ook van belang. Hoe beter de buitenunit zijn warmte kwijt raakt, hoe hoger de efficiëntie. Daarom wordt deze buitenunit best op een koele plaats voorzien, en niet op een zwart plat dak of in de zon. Ook het tijdstip van koeling heeft een invloed. Het beste moment is wanneer het buiten minst warm is. Zo kan de buitenunit het beste zijn warmte kwijt. Voor de keuze van het toestel moet er gekeken worden naar de seizoensgebonden prestatiecoëfficiënt voor koeling: de Seasonal Energy Efficiency Ratio of SEER (een courante SEER is 7 à 9).

## Mobiele airco

Mobiele airco’s zijn volledig af te raden. Een mobiele airco heeft geen buitenunit. De compressor staat dus binnen in de te koelen ruimte. De warmte van het toestel moet dus naar buiten afgevoerd worden met een buis doorheen een open raam of deur. Langs daar komt natuurlijk ook weer warmte binnen wat de efficiëntie van het toestel niet ten goede komt. Verder levert het toestel geluidsoverlast op in de te koelen ruimte. Tot slot heeft een mobiele airco een hoog energieverbruik.

**Vermijd airco, gezien het hoge energiegebruik.**

# VERKLARENDE WOORDENLIJST

**absorptievermogen** = het vermogen van een oppervlak om licht te absorberen. Absorptie is het fysisch verschijnsel dat licht door een materiaal geheel of gedeeltelijk wordt opgenomen en omgezet in een andere energievorm (warmte).

**beschermd volume** = het volume van alle ruimten in een gebouw die thermisch afgeschermd zijn van de buitenomgeving, de grond en alle aangrenzende ruimten die niet tot een beschermd volume behoren. Met 'thermisch afgeschermd' wordt bedoeld 'beschermd tegen warmteverliezen naar de buitenomgeving'.

**convectie** = is een mechanisme voor warmtestroming door verplaatsing van materiaal (in dit geval lucht). Dit kan plaatsvinden doordat een verschil in temperatuur een verschil in dichtheid veroorzaakt, maar ook door een drukverschil.

**dauwpunt** = Het dauwpunt of de dauwpuntstemperatuur is de temperatuur van een object waarbij de waterdamp door afkoeling van de lucht begint te condenseren zonder dat water wordt toegevoerd of afgevoerd. Bij bijvoorbeeld daken ligt het dauwpunt over het algemeen aan de buitenzijde van de isolatie.

**evapotranspiratie** = Bomen en vegetatie absorberen water via hun wortels en geven dit terug af via hun bladeren. Dit proces heet transpiratie. Water verdampt ook vanop of rond bomen en vegetatie, bv. de omringende bodem, de bladeren, de stam… Deze omzetting van vloeibaar water naar waterdamp heet evaporatie. Beide processen samen heten evapotranspiratie. Evapotranspiratie koelt de lucht door warmte uit de lucht te gebruiken om water te verdampen.

**hitte-eilandeffect** = een stedelijk hitte-eiland is een artificieel microklimaat dat gekenmerkt wordt door een plaatselijke temperatuurverhoging ten opzichte van de gemiddelde regionale temperatuur. Dit fenomeen wordt veroorzaakt door de concentratie van menselijke activiteiten die warmte opwekken (fabrieken, verwarmings- of klimaatsystemen …) en door de vervanging van natuurlijke oppervlakken door oppervlakken die meer warmte absorberen en zodoende de stedelijke omgeving opwarmen, vooral als het windstil is.

**hittestress** = Lichamelijke klachten bij mensen of dieren, veroorzaakt door extreme hitte. Bij hittestress, ook wel warmtestress genoemd, kan je lichaam de warmte moeilijk kwijt. Symptomen van hittestress zijn bijvoorbeeld overmatig zweten, opgezwollen armen en benen, uitdroging en spierkrampen.

**klimaatadaptatie** = aanpassing van natuurlijke en menselijke systemen aan de huidige en de te verwachten gevolgen van klimaatverandering.

**koellast** = hoeveel koelvermogen (capaciteit) er moet opgesteld worden om een ruimte goed te kunnen koelen.

**LT-waarde (%) of lichtdoorlatingsfactor** = de lichttransmissie geeft aan welk percentage van het zichtbare licht wordt doorgelaten doorheen het glas. Bij sterk zonwerende beglazing is de LT-waarde het kleinst.

**reflectievermogen** = het vermogen van een oppervlak om licht terug te kaatsen.

**SRI* of Solar Reflectance Index** = Deze index geeft het vermogen weer van een buitenafwerkingsmateriaal om de zonne-energie af te weren, waardoor de oppervlaktetemperatuur slechts licht stijgt. De SRI-index van een standaard zwart materiaal is gelijk aan 0 en die van een standaard wit materiaal is gelijk aan 100. Een materiaal met een hoge SRI-waarde wordt een 'koud materiaal' genoemd, het betreft immers een materiaal dat weinig opwarmt onder invloed van de zon.

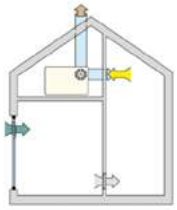
**thermische diffusiteit** = slaat op de snelheid waarmee de temperatuur van het materiaal zal evolueren wanneer het aan warmte wordt blootgesteld: bij een lage diffusie is er een aanzienlijke faseverschuiving tussen het moment waarop warmte aan één zijde van het materiaal aankomt en er langs de andere zijde weer uitkomt. Bij een hoge diffusiewaarde gebeurt dat snel. De warmtedoortrede wordt idealiter zodanig vertraagd dat de warmte de andere zijde van het materiaal pas bereikt, wanneer dat gewenst is (bv. afgekoeld).

**thermische geleidbaarheid** = een materiaalconstante dat het vermogen aangeeft van een materiaal om warmte door te geven via conductie. Dit vermogen wordt uitgedrukt in W/mK. Hoe lager deze waarde, hoe beter de thermische isolatie van materiaal.

**thermische massa** = is een term waarmee het thermisch accumulerend vermogen van massa wordt aangeduid, oftewel het vermogen om warmte en koude op te nemen, een periode vast te houden in het materiaal en later afhankelijk van de ruimtetemperatuur weer af te geven via het materiaal oppervlak.

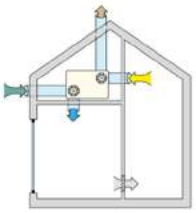
**thermische weerstand** = ook warmteweerstand of R-waarde genoemd. De R-waarde geeft het warmte-isolerend vermogen van een materiaallaag aan, vaak gebruikt als isolerende waarde van dubbel glas, muren, vloeren, daken. De R is de warmteweerstand van een materiaallaag. Hoe hoger de weerstand, hoe beter het materiaal isoleert.

**ventilatiesysteem C** = Een ventilatiesysteem waarbij de toevoer van verse lucht natuurlijk gebeurt via rooster op het raam of in de muur en de afvoer van vervuilde lucht mechanisch gebeurt met ventilatoren.



***Systeem C:***
*natuurlijke toevoer, mechanische afvoer*

**ventilatiesysteem D** = Een ventilatiesysteem waarbij zowel de toevoer van verse lucht als de afvoer van vervuilde lucht mechanisch gebeurt. Hierbij is er de mogelijkheid om warmteterugwinning toe te passen, waarbij de verse toevoerlucht wordt voorverwarmd of voorgekoeld met de warme of koele afvoerlucht.



***Systeem D:***
*mechanische toevoer, mechanische afvoer*

**Ug-waarde** = de warmtedoorgangscoëfficiënt van het glas (W/m²K) bepaalt de isolatiewaarde: hoe lager de U-waarde, hoe beter het glas isoleert.

**warmtecapaciteit** = is een maat voor de hoeveelheid warmte die 1 kilogram materiaal kan opslaan. Hoe hoger de warmtecapaciteit, hoe meer warmte er opgeslagen kan worden.

**warmtedoorslag** = de migratiesnelheid van warmte doorheen de verschillende materialen van de gebouwschil, waar het dan afgegeven wordt aan de binnenomgeving (Dikte isolatie (m) x massa isolatiemateriaal (kg/m³) x warmteopslagcapaciteit (J/kg.K) /U-waarde (W/m²K))

**warmtevraag** = het omgekeerde van koellast, hoeveel vermogen er moet opgesteld worden om een ruimte goed te kunnen verwarmen.

**zonnetoetredingsfactor** = de zonnetoetredingsfactor (%) (kort de ZTA of de g-waarde) geeft aan welk percentage van de zonne-energie door de beglazing binnenkomt. Deze factor is kleiner bij zonwerende, driedubbele en 4-seizoenenbeglazing.

# LITERATUURLIJST

GRO op weg naar toekomstgerichte bouwprojecten - Criteria voor gebouwen en site - versie 2019, Het agentschap Facilitair Bedrijf, Vlaamse overheid, 2019

Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 1: Wat is de impact van bouwkundige maatregelen? De Koevoet nr. 187, zomer 2019, p 22-28

Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 2: Wat is de impact van technieken? De Koevoet nr. 188, herfst 2019, p 44-50

www.pixii.be/artikels/oververhitting-voorkomen-10-stappen

## INLEIDING

www.hln.be/wetenschap-planeet/weernieuws/kaart-brussel-wordt-tegen-2050-even-heet-als-canberra-nu-meer-dan-vijf-graden-erbij-in-zomermaanden~a9d4f813

www.milieurapport.be/milieuthemas/klimaatverandering/gevolgen-klimaatverandering/slachtoffers-bij-hittegolven

https://klimaat.vmm.be/nl

V. Vanwelde (2017) Het thermische comfort in de zomer handhaven. WTCB-contact nr. 56, 2017-4

## DE BEHOEFTE OM TE KOELEN VERLAGEN

### 1. Microklimaat rondom gebouw

www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/waterdoorlatende-verhardingen.html?IDC=10707

Understanding climate change from a global analysis of city analogues, Universidade de Vigo, juli 2019

Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Climate Protection Partnership Division, US Environmental Protection Agency, 2012

### 2. Beglaasde oppervlakken

**a. Optimalisatie van de grootte en oriëntatie van raamopeningen**

Friedl Decock (Daidalos Peutz) (2018) Conceptmatig een goed zomercomfort creëren. NAV, Brussel.

Michel De Paepe (jaartal onbekend) Thermische installaties: thermische belasting en energiegebruik in gebouwen. Universiteit Gent

**b. Zonwering**

G. Flamant (2010) De verschillende functies van zonweringen, WTCB-Contact nr. 28, 2010-4

O. Gerin, G. Flamant, N. Heijmans (2010) Warmtecapaciteit van isolatiematerialen en risico op oververhitting. WTCB-dossier 2010/3, katern 6

**c. Beglazing**

G. Flamant, V. Detremmerie (2014) De energieprestaties van glasfolies. WTCB-Contact nr. 42, 2014-2

P. Wouters, L. Vandaele, S. Martin (1997) Vensters bouwfysisch bekeken. WTCB lente 1997, p 11-17

N. Heijmans, L. Lassoie (2015) Welke beglazing voor een dakvenster? WTCB-dossier nr. 2015:4, katern 5

### 3. Gesloten gebouwdelen

**a. Reflectievermogen van de buitenafwerking**

Racine Tadeu Araujo Prado, Fabiana Lourenco Ferreira (2005) Measurement of albedo and analysis of its influence on the surface temperature of building roof materials. Energy and Buildings nr. 37, 2005, p 295-300

E. Cailleux, B. Michaux, X. Loncour (2012) Lichtweerkaatsende dakafdichtingen en zonnepanelen. WTCB-Contact nr. 36, 2012-4

Langmans Jelle, Rapport: Overhittingsproblemen Smidsestraat Gent: onafhankelijk advies, Bauphi bouwfysisch ingenieursbureau, 2018

TV257 - bepleistering op buitenisolatie, WTCB, augustus 2016

www.coolroofs.org

www.coolroofcouncil.eu

https://e360.yale.edu/features/urban-heat-can-white-roofs-help-cool-the-worlds-warming-cities

**b. Isoleren**

O. Gerin, G. Flamant, N. Heijmans (2010) Warmtecapaciteit van isolatiematerialen en risico op oververhitting. WTCB-dossier 2010/3, katern 6

www.ecobouwadvies.be/isolatie/warmtedoorslag-warm-in-de-winter-koel-in-de-zomer

**c. Thermische massa (= thermische inertie)**

P.D. O'Sullivan, A. O'Donovan, M.D. Murphy (2018) The influence of thermal mass on the predicted climate cooling potential in low energy buildings. Cork Institute of Technology, Cork

L. François (2014) Hoe kan men de thermische opslagcapaciteit van gebouwen verhogen? WTCB-dossier 2014/3, katern 2

Verbeke Stijn, Thermal Inertia in dwellings - Quantifying the relative effects of building thermal mass on energy use and overheating risk in a temperate climate, 2017

**d. Groendaken**

Groen bouwen: groendaken en groene wanden. NAV infosessie, lente 2018

Issa Jaffal, Sahal-Eddine Oulboukhitine, Rafik Belarbi (2011) A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy nr. 43, 2012, p. 157-164

WTCB (2006) Technische Voorlichting 229 Groendaken. Brussel: WTCB

K. De Cuyper, K. Dinne, L. Van De Vel (2006) Regenwaterafvoer op groendaken. WTCB-dossier nr. 2006/3, katern 2

L. Gysels (BAS Bouwen/Acasus), Infofiche bouwadvies 07.02: groendaken, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

www.thegreenroofcentre.co.uk

www.efb-greenroof.eu

www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/contentgroep/klimaatbestendige-stad/resultaten/groene-daken.html#anker-verkoelt-een-groendak-de-binnenomgeving-

www.waterbewustbouwen.be/artikel/1494/overzicht-filters-hemelwaterput

H.F.Castleton, V. Stovin, S.B.M. Beck, J.B. Davison, Green Roofs; Building energy savings and the potential for retrofit, Energy and Buildings 42 (2010), p 1582-1591

Martin Hermy, Groen in woon- en leefomgeving (presentatie)

Getter, K. L.; Rowe, D. B., The role of extensive green roofs in sustainable development. Hortscience 2006, 41, (5), 1276-1285

**e. Groene gevel**

Groen bouwen: groendaken en groene wanden. NAV infosessie, lente 2018

M. Khairul (jaartal onbekend) Application of green facade as passive cooling technique for energy efficiency. Universiti Kebangsaan Malaysia, University of Duisburg-Essen

Infofiche bouwadvies 07.01: Groene gevels, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

www.gevelgroen.be

www.gevelgroen.be/wp-content/uploads/2020/02/Hygrothermisch_rapport-UA_2019-.pdf

Kyra Koch, Roeland Samson, Siegfried Denys, Groen bouwen: groene gevels voor duurzame gebouwen en steden, agentschap innoveren en ondernemen, 2019

Ottelé M.,Perini, Comparative experimental approach to investigate the thermal behavior of vertical greened facades of buildings, TU Delft, 2017.

Perini, K. et al., 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. Building and Environment, 46(11), pp.2287–2294.

Tabassom S., Aminatuzuhariah M.A., Dilshan R.O., Mohammad B., Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems, Universiti Teknologi Malaysia, 2014

### 4. Interne warmtewinsten reduceren

www.consumentenbond.nl/cv-ketel/afstellen-van-je-cv-ketel#no1

# KOELTECHNIEKEN

## A. Passieve koeling

### 5. Intensieve natuurlijke nachtventilatie / free-cooling

www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/mogelijkheden-van-natuurlijke-free-cooling.html?IDC=7847

O. Gerin, G. Flamant, N. Heijmans (2010) Warmtecapaciteit van isolatiematerialen en risico op oververhitting. WTCB-dossier 2010/3, katern 6

### 6. Passief koelen via ventilatie

**a. Lucht-aardwarmtewisselaar of AWW**

www.energiebewustontwerpen.be/artikel/1035/voorbehandeling-van-ventilatielucht-warmtewielen-en-voorkoeling

Infofiche bouwadvies 6.05: de aardwarmtewisselaar, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

**b. Bodemwarmtewisselaar (BWW) - koelvloeistof in grond**

Infofiche bouwadvies 6.05: de aardwarmtewisselaar, Samenwerking provinciale steunpunten duurzaam wonen en bouwen en kennispartners Dialoog, Bas Bouwen, MilieuAdviesWinkel, 2016

www.mijnepb.be/voorkoeling-ventilatielucht

www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/adiabatische-koeling.html?IDC=8955

www.veb.be/nieuws/energiezuinig-koelen-met-adiabatische-koeling

### 7. Passief koelen met warmtepomp

Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 1: Wat is de impact van bouwkundige maatregelen? De Koevoet nr. 187, zomer 2019, p 22-28

www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/technieken/verwarming-koeling-en-sanitair-warm-water/opwekking/koelsystemen/koeling-in-wooneenheden

## B. Actieve koeling

### 8. Ventilator

www.lowtechmagazine.be/2014/09/ventilator-minstens-tien-keer-efficienter-dan-airco.html

### 9. Actief koelen met een warmtepomp

Bert Vanderwegen (2019) Oververhitting in je woning voorkomen - deel 1: Wat is de impact van bouwkundige maatregelen? De Koevoet nr. 187, zomer 2019, p 22-28

provincie Oost-Vlaanderen

Interreg 2 Seas Mers Zeeën

Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

COOLTOWNS