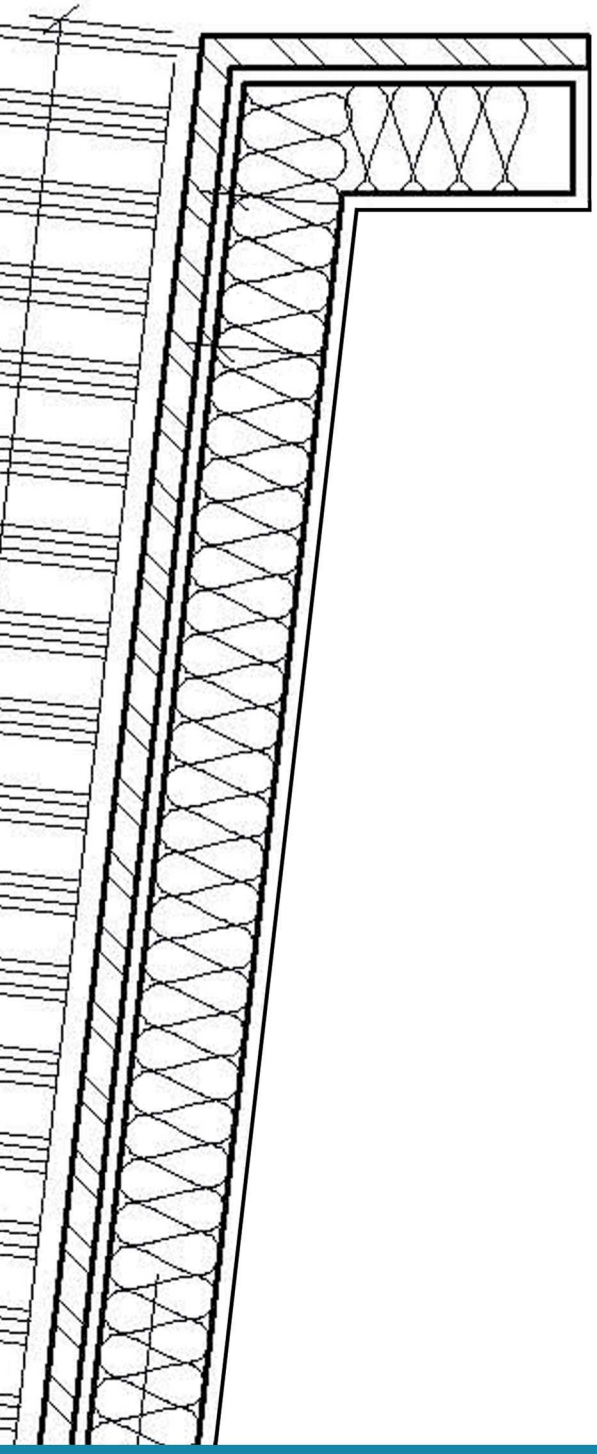
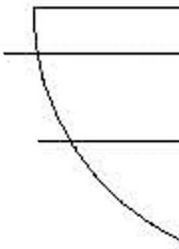
PASSIEFHUISGIDS

INSTRUMENTARIUM VOOR DE ARCHITECT

Eerste editie december 2007





PEP
Promotion of European Passive Houses
www.europeanpassivehouses.org

Intelligent Energy Europe

PASSIEFHUISGIDS

INSTRUMENTARIUM VOOR DE ARCHITECT

1ste editie december 2007

Editors

Ir.-Arch. Erwin Mlecnik
Ir.-Arch. Hermann Moens
Arch. Stijn Van Den Abeele
Ing. Stefan Van Loon

Met medewerking van

Jyri Nieminen, Jeni Jahn, Miimu Airaksinen
Arch. Joke Brans
Ir.-Arch. Wouter Hilderson
Ir. Klaas Hubrechts
Lic. Christophe Marrecau
Student Ir.-Arch Kris Meyers
Arch. Dries Van de Poel
Arch. Karen Verhaeghe
Ir.-Arch. Sien Vervoort

Met dank aan

Arch. Bart Cobbaert
Arch. Christophe Debrabander
Hans Delannoye
Ing. Paul Van den Bossche

Colofon

Eerste versie: december 2007

Lay-out: Kris Meyers en Stijn Van Den Abeele

Uitgegeven door: Passiefhuis-Platform vzw

Copyright © 2007 Passiefhuis-Platform vzw

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband, elektronisch of op welke andere wijze ook zonder een voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De enige verantwoordelijkheid voor de inhoud van deze publicatie ligt bij de auteurs. Ze vertegenwoordigt geenszins de mening van de Europese Gemeenschap. De Europese Comissie is niet verantwoordelijk voor gebruik van de informatie gegeven in deze publicatie.

PASSIEFHUISGIDS

INSTRUMENTARIUM VOOR DE ARCHITECT

1ste editie december 2007

Editors

Ir.-Arch. Erwin Mlecnik
Ir.-Arch. Hermann Moens
Arch. Stijn Van Den Abeele
Ing. Stefan Van Loon

Met medewerking van

Jyri Nieminen, Jeni Jahn, Miimu Airaksinen
Arch. Joke Brans
Ir.-Arch. Wouter Hilderson
Ir. Klaas Hubrechts
Lic. Christophe Marrecau
Student Ir.-Arch Kris Meyers
Arch. Dries Van de Poel
Arch. Karen Verhaeghe
Ir.-Arch. Sien Vervoort

Met dank aan

Arch. Bart Cobbaert
Arch. Christophe Debrabander
Hans Delannoye
Ing. Paul Van den Bossche

Wat is PEP ?

PEP, dat staat voor 'Promotion of European Passive Houses', is een consortium van Europese partners, gesteund door de Europese Commissie, Directoraat Generaal voor Energie en Transport.

Het PEP Consortium bestaat uit de volgende deelnemers:

Energy research Center of the Netherlands	ECN		Nederland	Coördinator
Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE Institute for Sustainable Technologies	AEE INTEC		Oostenrijk	Betrokken begunstigde
Building Research Establishment	BRE		Verenigd Koninkrijk	Betrokken begunstigde
DHV Building and Industry	DHV		Nederland	Betrokken begunstigde
Ellehauge & Kildemoes	EK		Denemarken	Betrokken begunstigde
National University of Ireland	NUID		Ierland	Betrokken begunstigde
Passiefhuis-Platform	PHP		België	Betrokken begunstigde
proKlima	ProKlima		Duitsland	Deelnemer

Passivhaus Institut	PHI		Duitsland	Onderaannemer van proKlima
Stiftelsen for industriell og teknisk forschung ved Norges Tekniske Hogskole	SINTEF		Noorwegen	Betrokken begunstigde
Technical research Centre of Finland	VTT		Finland	Betrokken begunstigde

Intelligent Energy Europe

Deze gids kwam tot stand in het kader van het Europees project 'Promotion of European Passive Houses', op basis van bronmateriaal aangeleverd door diverse Europese partners. VTT Finland zorgde voor het aanreiken van de templates, waarna Passiefhuis-Platform een regionale invulling gaf aan deze gids voor architecten.

Het PEP-project is gedeeltelijk ondersteund door het IEE Programma EIE/04/030/S07.39990 en gecofinancierd door het Vlaams Gewest, het Waals Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en de FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.

Het deel "klimatisatie" werd mogelijk gemaakt dankzij de financiële ondersteuning van IWT Vlaanderen.

Het **instituut voor Innovatie door Wetenschap en Technologie** is een overheidsagentschap voor de ondersteuning van technologische innovatieprojecten in Vlaanderen

Inhoudstafel

Voorwoord 11

01 Inleiding 13

1.1 Wat is een passiefhuis? 13

1.2 Energiebesparing 16

1.3 Comfortvoordelen 18

1.4 Het bouwteam of de geïntegreerde methode 20

02 Bepalende elementen bij het voorontwerp 23

2.1 Inplanting en oriëntatie 24

2.2 Compactheid 28

2.3 Doordachte planopbouw 29

03 Eerste calculatie 33

3.1 PHPP-software 33

3.2 Simulatie vertaald naar Excel® 35

3.3 PHPP als ontwerpinstrument 36

04 Gedetailleerd ontwerp 39

4.1 Thermische verliezen beperken 39

4.1.1 Thermische isolatie 39
4.1.2 Koudebrugvrij construeren 43
4.1.3 Luchtdichtheid 45
- Luchtdichte vlakken 49
- Lijnvormige aansluitingen 50
- Puntvormige doorboringen 50

4.1.4 Schrijnwerk 51
- Beglazing 51
- Raamkaders 56
- Zonwering 60

4.2 Klimatisatie 70

4.2.1 Comfort 70
- Binnenklimaat 70
- Luchtsnelheid 71
- Luchtkwaliteit 71
- Lucht–, wand– en oppervlaktetemperaturen 72
- Andere comfortparameters 73
- Verluchten < > Ventileren 73

4.2.2 Balansventilatie met hoogrendement warmteterugwinning 77
- Aanzuig– en afvoeropening 78
- Kanalen tussen afvoer– en aanzuigopening enerzijds en het balansventilatietoestel anderzijds 79
- Het balansventilatietoestel met warmteterugwin-unit 79
- Kanalen van luchtdistributie 85
- Inblaas– en extractiemonden 86
- Doorstroomopeningen 88
- Aardwarmtewisselaar of bodem-luchtwarmtewisselaar 89
- Dampkap 92
- Droogkast 93
- Keuze en plaatsing van een balansventilatiesysteem 94

4.2.3 Naverwarming en warm tapwater 94
- Bereiding van warm tapwater 95
- Naverwarming 97
- Compacte geïntegreerde toestellen 101

4.3 Andere energiezuinige maatregelen 103

4.3.1 Energiezuinige toestellen 103
- Hotfill was– en vaatwasmachine 103
- Koelkast en diepvriezer 104
- Droogkast 105

4.4 Hernieuwbare energie 106

4.4.1 Zonnesystemen 106
- PV-panelen 106
- Zonnecollector 107
- Geïntegreerde systemen 107

4.4.2 Windenergie 108
- Windturbines 108
- Kleinschalige systemen 108

4.4.3 Warmtekrachtkoppeling (WKK) 108

05 Certificatie 110

5.1 Certificatieprocedure 110

5.1.1 Criteria voor residentiële gebouwen 111

5.1.2 Criteria voor tertiaire gebouwen 112

5.2 PHPP-berekening voor certificatie 113

06 Passiefhuis-checklist 114

- Rekening houden tijdens het voorontwerp met: 114
- Rekening houden tijdens het gedetailleerde ontwerp met: 114

07 Bijlagen 116

7.1 Voorbeelden van projecten gerealiseerd volgens het passiefhuisconcept 116

7.2 Subsidies en fiscale voordelen in verband met passiefhuizen 117

7.3 Checklist voor de certificatieprocedure 117

7.4 Criteria voor kwaliteitsverklaring 117

08 Bronnen 118

- Literatuur 118
- Andere 121

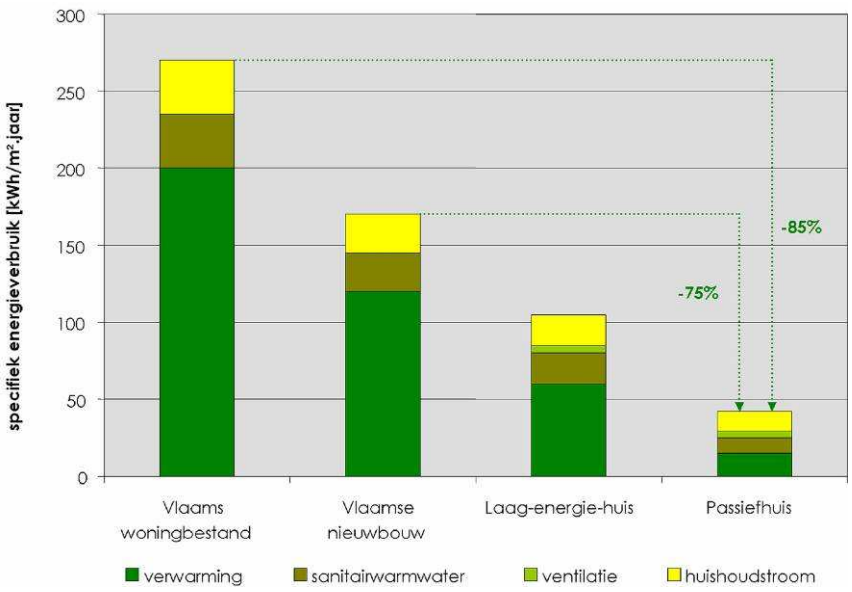
Voorwoord

In de jaren ’70 werd voor het eerst duidelijk hoe kwistig en onbezonnen we omgaan met onze kostbare energievoorraden. De energiecrisis liet ons inzien dat isoleren geen overbodige luxe is. De overheid volgde met reglementeringen om het energieverbruik te verlagen, waarbij eerst het K-peil en recent de EPB-regelgeving werden ingevoerd.

Nu de opwarming van de aarde een ‘hot topic’ is en de energieprijzen steeds stijgen, wint efficiënt energiegebruik almaar aan belang. Dat is niet enkel een ecologische bedenking, maar ook steeds meer een financiële. Zowat 40% van onze jaarlijkse energieconsumptie wordt verbruikt in gebouwen. Nochtans is het drastisch doen dalen van ons energieverbruik geen illusie, alle middelen zijn voorhanden.

Dat dit geen droombeeld is, wordt aangetoond in het passiefhuisconcept dat 85% minder energie verbruikt dan het Vlaamse woningbestand (figuur 1).

Het passiefhuisconcept richt zich vooral op de woningbouw, maar kan evengoed toegepast worden in tertiaire gebouwen. Zoals de cijfers aantonen, kan er veel energie gewonnen worden in gebouwen. Daarom wordt de passiefhuis aanpak door professionele bouwers steeds meer als de zinnige weg voorwaarts beschouwd.



Figuur 1: Energieverbruik woningen (PHP vzw)

In binnen– en buitenland zijn al heel wat passieve woningen gerealiseerd en hun verscheidenheid is groot: een passiefhuis kan er heel traditioneel uitzien, maar ook heel modern. Het concept laat experimentele en flexibele architectuur toe die gerealiseerd kan worden met een hoge energie-efficiëntie en een lage milieu-impact. Door de constante temperatuur in alle zones van de woning is men niet meer verplicht om ruimtes af te sluiten en wordt het mogelijk om het “plan libre” toe te passen zonder dat men aan comfort inboet. Het passiefhuisconcept kan de creativiteit aanwakkeren om nieuwe kostenefficiënte concepten uit te werken.

Deze passiefhuisgids heeft als doel een duidelijk overzicht te geven van de aandachtspunten die betrekking hebben op het ontwerpen van een passiefhuis. Omdat al van bij het voorontwerp dient rekening gehouden te worden met een aantal facetten, volgt deze gids het ontwerpproces en het ontstaan van een passief gebouw. Eerst wordt het voorontwerp en een eerste calculatie onder de loep genomen. Daarna volgt het gedetailleerde ontwerp met nacalculatie en tot slot wordt de procedure van eventuele certificatie uiteengezet.

Daarnaast zijn als bijlage (op cd-rom) de gecertificeerde passieve woningen en gecertificeerde passieve tertiaire gebouwen opgenomen om een duidelijk beeld geven van de ontwerpvrijheid die de architect behoudt.

01 Inleiding

1.1 Wat is een passiefhuis?

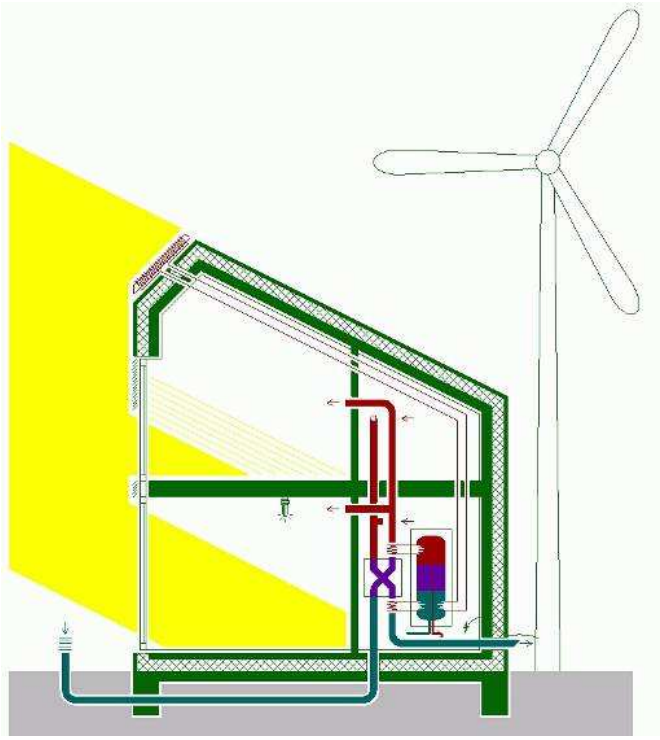
Traditioneel wordt een woning verwarmd door een centrale verwarming (met een stookolie of gasketel) en radiatoren. Deze woningen hebben een maximale warmtevraag van ongeveer 100 W/m². Dat betekent dat per m² de energie van een gloeilamp van 100 Watt nodig is om de woning te verwarmen.

Al vele jaren wordt gezocht naar bouwconcepten waarbij het energiegebruik geoptimaliseerd wordt. Dat gebeurt vaak door het experimenteren met ingewikkelde technologieën. Eenvoud siert echter het passiefhuis (figuur 2). Zoals de naamgeving aangeeft, kunnen de energiebesparingen in hoofdzaak worden gerealiseerd door middel van passieve strategieën. Door het optimaliseren van de sowieso reeds noodzakelijke constructieve elementen wordt een conventioneel verwarmingssysteem overbodig.

Een passiefhuis is een ontzettend energiezuinig gebouw waarin altijd een comfortabel binnenklimaat heerst, zowel in de winter als in de zomer. Die energie-efficiëntie wordt bereikt door:

- De warmteverliezen zoveel mogelijk te beperken. Dat kan door een hoge isolatiegraad, het streven naar een koudebrugvrije constructie en een goede luchtdichtheid, zodat zowel infiltratie als exfiltratie van lucht zoveel mogelijk vermeden wordt.
- Een optimale benutting van warmtewinsten (passieve zonnewinsten en interne warmtewinsten).
- Het gebruik van een hoogrendement balansventilatie met warmterecuperatie.

Op deze manier kan de energievraag sterk gereduceerd worden en blijft de warmtevraag van een passieve woning ongeveer beperkt tot slechts 10 W/m². Dat betekent dat een passiefhuis opgewarmd kan worden met het vermogen van een strijkijzer! Verder kan gebruik gemaakt worden van energiezuinige toestellen zodat het energie– en waterverbruik drastisch daalt. Door de sterk verminderde energievraag kunnen hernieuwbare energiebronnen aangesproken worden om de resterende energiebehoefte te dekken.



Figuur 2: Voorstelling passiefhuisconcept (PHP vzw)

Een passiefhuis wordt gedefinieerd door volgende globale energieprestatie-eisen (volgens PEP):

- het energiekengetal voor ruimteverwarming is kleiner of gelijk aan 15 kWh per m² netto vloeroppervlakte per jaar;
- het gebouw moet voldoende luchtdicht zijn: $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$;
- het totale energieverbruik voor ruimteverwarming, warm tapwater en elektrische apparaten is kleiner of gelijk aan 42 kWh/m².jaar (figuur 1). Omgerekend naar primaire energie moet dit kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 120 kWh/m².jaar.

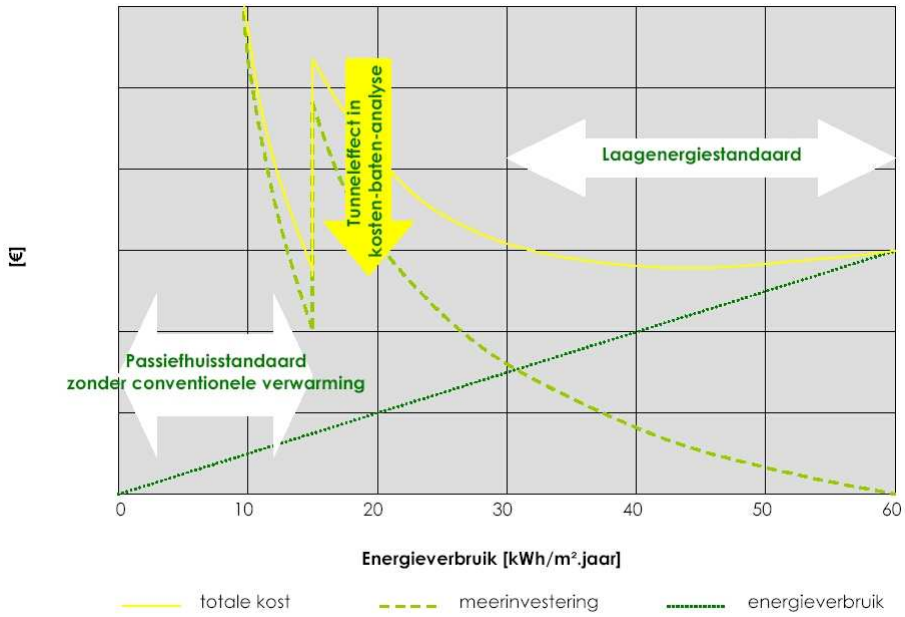
Voor bouwdelen worden geen prestatie-eisen opgelegd. Voor de thermische isolatie van vloeren, muren en daken wordt een streefwaarde voor de U-waarde meegegeven van maximum 0,15 W/m²K. Glas en raamkaders dat gebruikt wordt in een passiefhuis dient te voldoen aan een streefwaarde van maximum 0,8 W/m²K. Bijkomend wordt voor de raaminbouw, dus inclusief de eventuele lineaire warmteverliezen veroorzaakt door het raamkader of de manier van inbouwen, een streefwaarde vooropgesteld van 0,85 W/m²K.

Afhankelijk van de oriëntatie en compactheidsgraad van het gebouw kunnen deze waarden ontoereikend zijn om aan de gestelde passiefhuiscriteria te voldoen. De huidige gemiddelde U-waardes van de reeds gecertificeerde woningen bedragen voor muren ca. 0,12-0,13 W/m²K, voor daken ca. 0,09 W/m²K en voor vloeren ca. 0,14 W/m²K.

1.2 Energiebesparing

Hoe meer het gebouw geïsoleerd wordt, hoe groter de investering in isolatiemateriaal zal worden. Een verdubbeling van de isolatiediktes brengt echter geen verdubbeling van de werkuren met zich mee. Het kost immers slechts evenveel tijd om een isolatieplaat met een dikte van 6 cm te plaatsen dan eenzelfde plaat met een dikte van 12 cm. Het materiaal op zich zal wel duurder zijn, maar ook niet noodzakelijk het dubbele.

Figuur 3 geeft een beeld van het kosten-batenverhaal van passiefhuizen t.o.v. lage-energiewoningen. Vele onderzoeken hebben aangetoond dat het economische optimum bij de huidige energieprijzen al ver onder de wettelijk minimale eisen (E100, K45) liggen. Vele studies vergaten echter verder te kijken dan de lage-energiewoning en zijn vaak ook al achterhaald door de enorme energieprijsstijgingen van de afgelopen maanden en jaren. Vandaar dat wij de stap verduidelijken van lage-energie naar passiefhuizen.



Figuur 3: Kostenbaten analyse (PHP vzw)

Indien het energieverbruik voor verwarming van een lage-energiewoning verder daalt tot 15 kWh/m² jaar (het passiefhuisniveau), dan zal de investering in eerste instantie stijgen. Het beperken van de warmteverliezen vereist immers vooral een hogere investering in o.a. extra isolatiemateriaal en betere beglazing en schrijnwerk. Daartegenover staat dat de

energiebehoeften lineair dalen en bijgevolg ook de exploitatiekosten dalen. Maar de exploitatiekosten kunnen de meerkosten van het gebouw niet compenseren omdat die exponentieel toenemen. Bovendien moet een conventioneel verwarmingssysteem nog steeds voorzien worden. Een eerste optimum kan gevonden worden rond 40-45 kWh/m² per jaar, de lage energiewoning. Toch blijven de verbruikskosten nog relatief hoog.

Indien echter nog een stap verder gegaan wordt, zal ter hoogte van de passieve norm van 15 kWh/m² per jaar een tunneleffect in de kosten optreden omdat een traditioneel verwarmingssysteem overbodig wordt. De norm van 15 kWh/m² per jaar is niet zomaar gekozen; op deze plaats vertoont de curve een tweede optimum. De kosten-batenanalyse van een passiefhuis is geen onbetwistbaar optelsommetje en kan project per project sterk verschillen. De investeringskost van een passiefhuis ligt in vergelijking met een traditionele woning hoger, maar de verbruikskosten zijn essentieel lager. Op lange termijn maken de lage verbruikskosten een passiefhuis dus kostenefficiënt. Buitenlandse studies (PHI Duitsland) tonen ook aan dat bij een integrale ontwerpaanpak, na enige marktintegratie, de totale kosten niet hoger hoeven te zijn dan voor een gemiddelde nieuwe woning. Dat is in hoofdzaak toe te schrijven aan het vermeden verwarmingssysteem en de daarbij horende lagere energiefacturen.

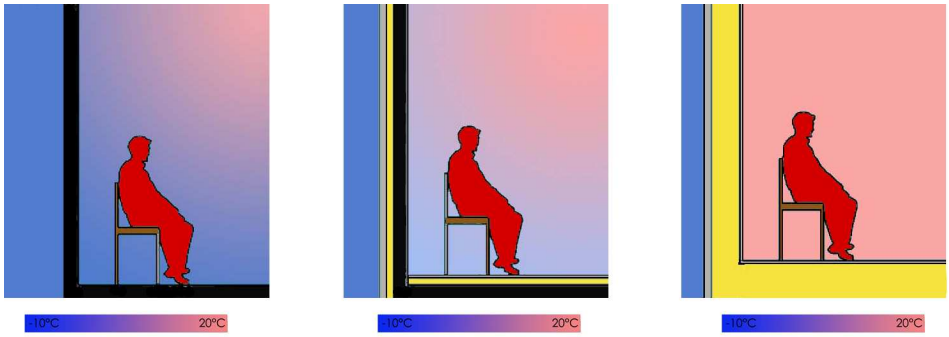
Bovendien komt het passiefhuisconcept in aanmerking voor belastingsvermindering en zijn er tal van aanvullende (cumulatieve) premies voor energiebesparende investeringen (zie bijlage voor een overzicht).

De gebouwschil nog verder isoleren zal steeds kleiner wordende energiebesparingen opleveren en is anno 2007 niet economisch rendabel. Nul-energiewoningen kunnen op termijn bij nog hogere energieprijzen wel economisch haalbaar worden. Vandaag zijn ze dat nog niet wegens dure technieken en zeer hoge materiaalinput. Nochtans nemen ook al diverse steden en gemeenten het voortouw om nog een stap verder te gaan dan het passiefhuisconcept.

1.3 Comfortvoordelen

De standaard voor een passiefhuis laat toe de energievraag van een nieuwe woning op een rendabele manier te minimaliseren terwijl het comfortgevoel van de bewoners geoptimaliseerd wordt. Het passiefhuisconcept toont aan dat het behalen van de Kyoto-doelstellingen niet gepaard hoeft te gaan met comfortverlies. Integendeel, een passiefhuis biedt een hoger comfort voor een zeer laag energieverbruik. Een studie uitgevoerd door A. Berndgen Kaiser toont aan dat het merendeel van de passiefhuisbewoners heel tevreden zijn over het comfort van een passiefwoning. Zowel op thermisch en akoestisch vlak is een hoger comfortgevoel ten opzichte van traditionele woningen, alsook op het vlak van binnenklimaat en gebruiksgemak van de woning.

Door de doorgedreven isolatie (figuur 4) van de buitenschil van een passiefhuis, zijn de oppervlaktetemperaturen van de wanden niet veel lager dan de omgevingstemperatuur. Op die manier zal er geen koudegevoel zijn in de buurt van wanden of vensters.



Figuur 4: Comfortgevoel in 1. een niet-geïsoleerde woning, 2. een geïsoleerde woning en 3. een passiefhuis (PHP vzw)

Ook in de zomer wordt een aangenaam thermisch comfort gegarandeerd door het aanbrengen van externe zonwering op raampartijen. Horizontale oversteken op het zuiden zijn ideaal. Ook via een aardwarmtewisselaar blijft de luchttemperatuur in de woning op een comfortabel niveau.

Het binnenklimaat in een passiefhuis is gemakkelijk te controleren en te onderhouden. De aanwezigheid van allerhande stoffen in de lucht van een woning zoals microstof, uitwasemingen van formaldehyde of radon en CO_2 geproduceerd door de aanwezige personen kunnen bij slechte ventilatie de oorzaak zijn van allerlei gezondheidsproblemen

zoals astma, irritatie aan de luchtwegen, slijmvlies, ogen, neus of keel, hoofdpijn, vermoeidheid en dalend concentratievermogen. Het kan eveneens aanleiding geven tot het Sick Building Syndrome.

Door de aanwezige balansventilatie wordt in een passiefhuis, bij een correct gebruik van het toestel, altijd een gezond binnenklimaat gegarandeerd. Constant wordt voldoende verse gefilterde lucht toegevoerd in de leefruimtes en vochtige, vervuilde lucht afgevoerd uit de natte ruimtes.

Ook akoestisch biedt een passiefhuis voordelen. Storende geluiden van buitenaf zoals een drukke weg worden grotendeels geweerd dankzij de zeer goede isolatie en luchtdichtheid van het bouwvolume.

Het visuele aspect verbetert aanzienlijk: door grote ramen op het zuiden kan veel licht tot diep in de woning binnendringen zodat de behoefte aan kunstlicht beperkt wordt. Door de afwezigheid van een conventioneel verwarmingssysteem, zijn radiatoren overbodig in de woning.

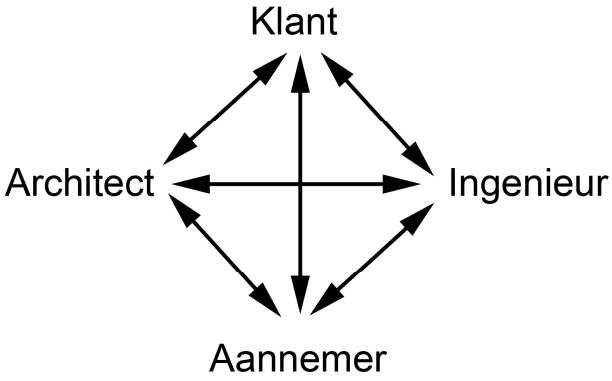
Een passieve woning betekent ook een groter gebruiksgemak voor de bewoners. Door een temperatuur die constant schommelt rond de 20°C, zo wel dag als nacht, zomer als winter, hoeven de bewoners zich slechts weinig zorgen te maken rond het klimaatbeheer van de woning. Veelal laat een eenvoudige regeling toe om het luchtdebiet te bepalen in functie van de comfortbehoefte. Het onderhoud van de installatie beperkt zich grotendeels tot het regelmatig vervangen of wassen van de filters van de ventilatie-installatie. Door het groot isolerend vermogen blijft een passiefhuis ook weken lang op quasi dezelfde temperatuur wanneer de installatie niet werkt. Bewoners vinden het steeds een aangename ervaring om na twee weken skivakantie thuis te komen in een warm huis!

1.4 Het bouwteam of de geïntegreerde methode

Bij een traditionele aanpak gaat elke betrokken partij zijn deeltje van de puzzel realiseren in het bouwproject. De architect ontwerpt het gebouw, vervolgens lost de ingenieur de technische en structurele problemen op en tenslotte realiseren meerdere aannemers en installateurs het gebouw volgens de plannen. Constructiefouten of overschrijdingen van het budget komen hierbij dikwijls voor. Ze zijn het resultaat van de gefragmenteerde aanpak van het bouwproject.

Bij het ontwerpen van een passiefhuis, wordt een prestatieverbintenis aanbevolen. Hierbij is de prestatie het behalen van de kwaliteitsverklaring zodat de bewoner een zekerheid heeft dat hij werkelijk in een passiefhuis woont.

Aangezien bij het ontwerpen van een passiefhuis een prestatieverbintenis aanbevolen wordt, in plaats van de klassieke middelenverbintenis, is het nuttig om te opteren voor een ontwerp door middel van een bouwteam. Het doel van een bouwteam is de kennis van de verschillende partijen samen te brengen tijdens het hele bouwproces, en om de prestatie-eisen voor alle partijen duidelijk te stellen. Het bouwteam (figuur 5) bestaat minimaal uit de architect, de bouwheer en de aannemer. Eventueel kunnen ook de ingenieurs, gespecialiseerde technici en zelfs landschapsarchitecten, binnenhuisarchitecten en materiaalleveranciers betrokken worden in het team.

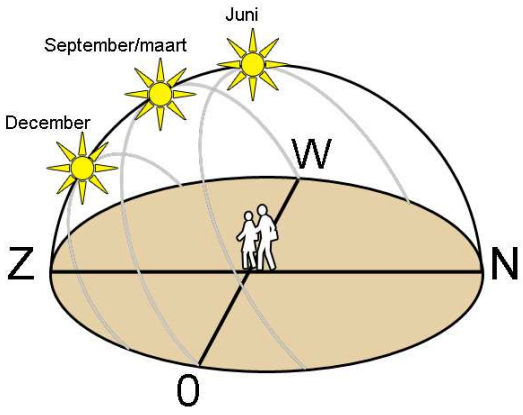


Figuur 5: Het bouwteam (PHP vzw)

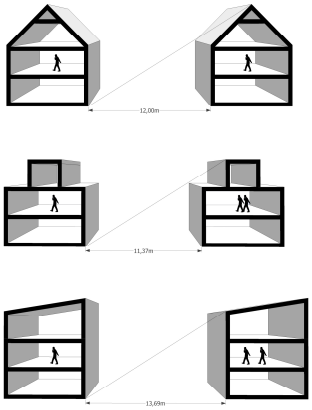
Deze structuur garandeert een globale aanpak van het bouwproject, wat niet alleen zeer voordelig is tijdens de realisatie, maar ook tijdens de gebruiksperiode van het gebouw. Tijdens de ontwerpfase zitten alle betrokken partijen aan tafel om de wensen van de bouwheer op te nemen, de verplichtingen van elke partij te noteren en de mogelijkheden van het project na te gaan. Van bij de start worden vragen over energiebesparing en het leefcomfort in overweging genomen en worden de wensen van de klant vastgelegd in meetbare prestatie-eisen. Elke partij blijft betrokken, met inbegrip van de opvolging en onderhoud van het gebouw. De betrokkenheid van een aannemer vanaf het begin van het proces kan vaak leiden tot nuttige tips inzake kostenbesparing en uitvoering. Het resultaat van deze geïntegreerde methode is een performant gebouw dat voldoet aan het vereiste kwaliteitsniveau en de wensen van de klant.

02 Bepalende elementen bij het voorontwerp

Al bij de keuze van het bouwterrein kan men rekening houden met een aantal richtlijnen die een invloed hebben op de warmte– en koellasten van een gebouw en het comfort van de bewoners kunnen verbeteren. Bij een glooiend terrein of het ontwerp van een hellend (dak)vlak kan een lage en zonnig zuidelijke helling nuttig zijn, waar de temperatuurbalans op zonnige winterdagen positief kan worden en integratie van zonne-energie systemen mogelijk is. De keuze van een site laat een goede oriëntatie (figuur 6) van gebouwen en daken toe, die optimale afstanden tussen gebouwen respecteert (figuur 7) zodat gebruik kan worden gemaakt van zonne-energie, en die rekening houdt met beplanting en bladverliezende bomen om oververhitting in de zomer te vermijden.



Figuur 6: Zonnebaan diagram (PHP vzw)

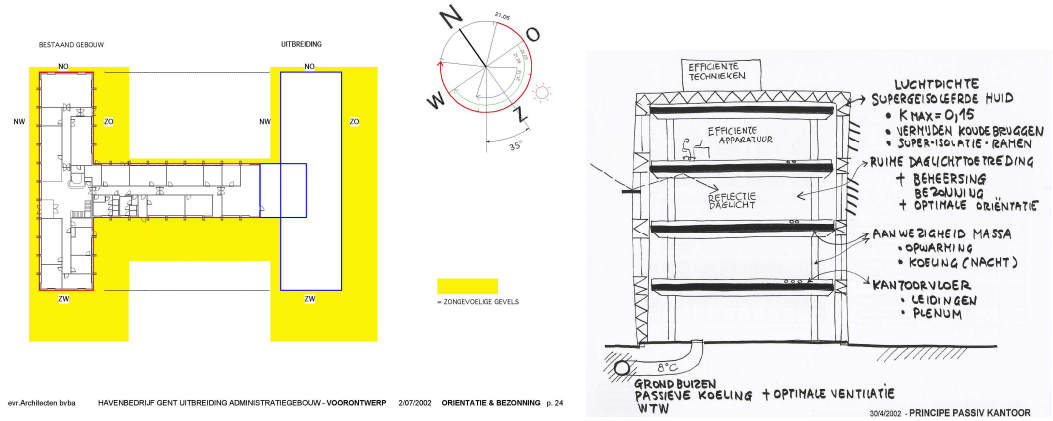


Figuur 7: Optimale afstanden tussen gebouwen (PHP vzw)

Dat het passiefhuisconcept geen negatieve invloed heeft op de architectuur, werd eerder al aangehaald, maar het respecteren van een aantal principes helpt zeker om het doel eenvoudiger en kostenefficiënter te bereiken. Indien de omgeving het niet toelaat maximaal te profiteren van de passieve zonnewinsten, dan moeten de warmteverliezen beperkt worden tot het strikte minimum.

2.1 Inplanting en oriëntatie

Een goede analyse van de omgeving van het te realiseren project is belangrijk voor de inplanting en oriëntatie van de woning (figuur 8). De analyse van de site geeft informatie over het klimaat en het omliggend terrein in relatie met de zontoetreding, beschaduwing, wind en omgevingstemperatuur. Een analyse van de bodem laat toe om de geleidbaarheid van de bodem en de waterspiegel van constante temperatuur te karakteriseren. De analyse toont tevens aan op welke manier de energievraag en het comfort beïnvloed worden door het microklimaat, de luchttemperatuur, de bodemtemperatuur, de zonnestraling, luchtbewegingen en de relatieve vochtigheid.

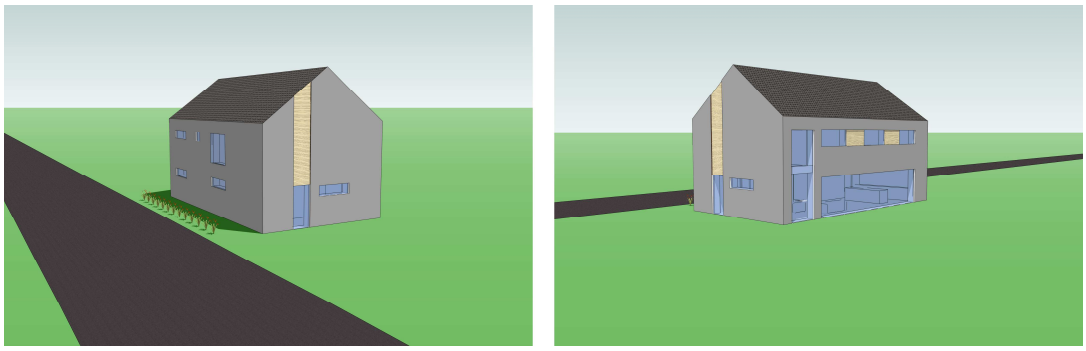


Figuur 8: 1. Oriëntatie ten opzichte van de zon 2. Concept voor passief kantoor (evr-architecten, Havenbedrijf Gent)

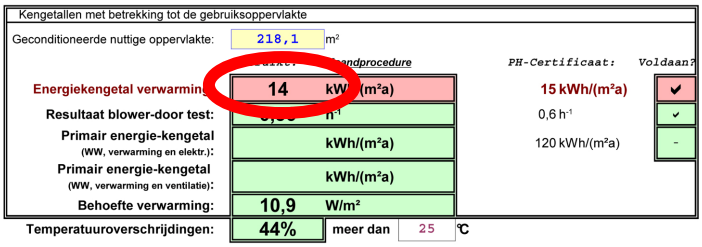
Het passiefhuisconcept richt zich eerst en vooral op het reduceren van de energievraag van een gebouw. De manier waarop een gebouw gepositioneerd is, heeft een grote invloed op zijn energie-efficiëntie. Oriëntatie speelt een belangrijke rol in het reduceren van de warmtevraag in de winter en de koelvraag in de zomer. Optimalisatie van zontoetreding en bescherming tegen koude wind helpt bij het reduceren van de verwarmingslast. Passiefhuizen kunnen in de zomer zonwering gebruiken om de koellast te verminderen. Belangrijk hierbij is dat de zonwering thermisch onderbroken geplaatst moet worden om extra koudebruggen te vermijden.

Zo zal in een passiefhuis, als de situatie het toelaat, het merendeel van de ramen best georiënteerd zijn tussen het zuidoosten en het zuidwesten. Op die manier wordt de behoefte aan warmte sterk gereduceerd. Door de combinatie van een goede glasoriëntatie en toepassing van passiefhuisvensters kan op jaarbasis warmtewinst geboekt worden (= passieve zonnecollector).

Het belang van oriëntatie wordt duidelijk gemaakt met volgend voorbeeld. Een woning (figuur 9) heeft oorspronkelijk grote glaspartijen op het zuiden gericht en wordt in het voorbeeld 180° gedraaid (figuur 11) om de impact va n een andere oriëntatie aan te tonen.



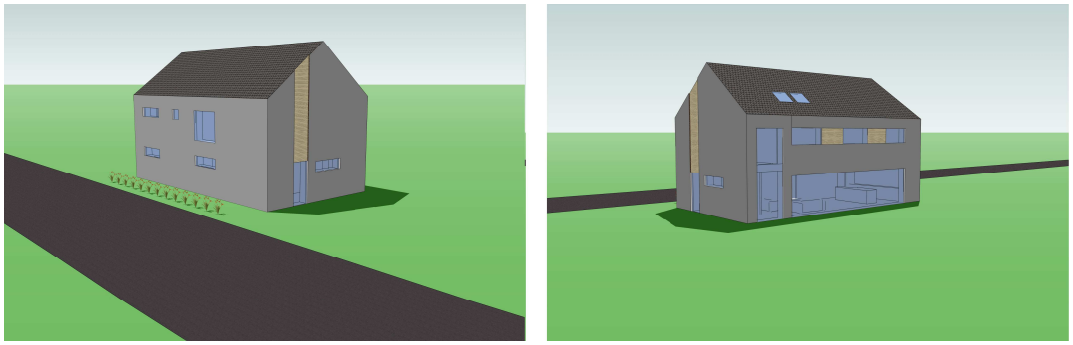
Figuur 9: Noord– en zuidgevel van de beginsituatie (architect Bart Deschoolmeester i.s.m. Herman Remes; PHP vzw)



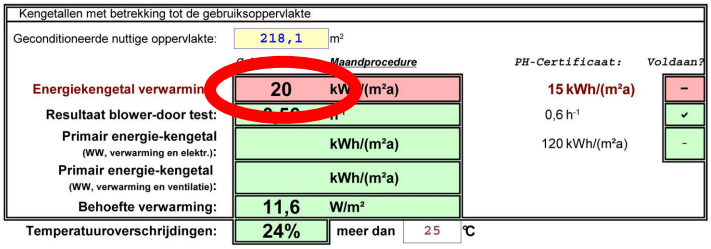
Kengetallen met betrekking tot de gebruiksoppervlakte				
Geconditioneerde nuttige oppervlakte:	218,1	m²		
			PH-Certificaat:	Voldaan?
Energiekengetal verwarming	14	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	✔
Resultaat blower-door test:	[illegible]	h^{-1}	0,6 h^{-1}	✔
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en elektr.):		kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	-
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en ventilatie):		kWh/(m²a)		
Behoefte verwarming:	10,9	W/m²		
Temperatuuroverschrijdingen:	44%	meer dan 25 °C		

Figuur 10: PHPP-berekening beginsituatie (PHP vzw)

De PHPP-berekening (figuur 12) laat zien dat de woning niet meer voldoet aan de passiefhuisstandaard van 15 kWh/m². Het energiekengetal voor verwarming bedraagt nu 20 kWh/m², wat een sterke verhoging is (ca. 30%).



Figuur 11: Noord– en zuidgevel van de gewijzigde oriëntatie (architect Bart Deschoolmeester i.s.m. Herman Remes; PHP vzw)

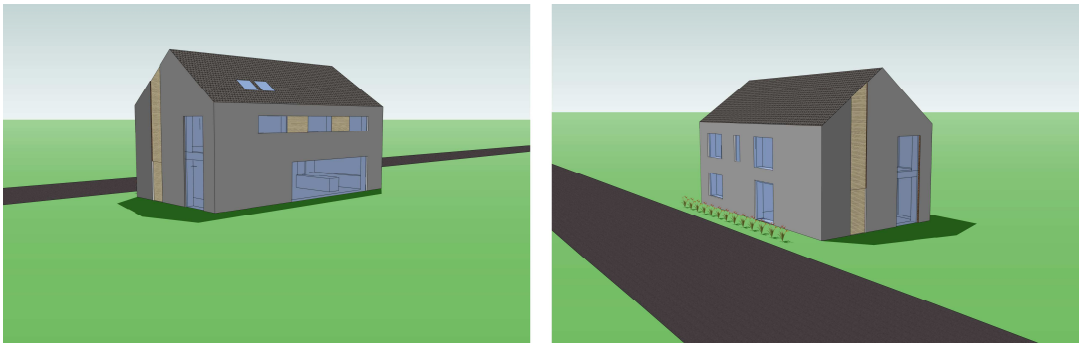


Kengetallen met betrekking tot de gebruiksoppervlakte				
Geconditioneerde nuttige oppervlakte:	218,1 m²			
		Maandprocedure	PH-Certificaat:	Voldaan?
Energiekengetal verwarming:	20	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	–
Resultaat blower-door test:	[illegible]	[illegible]	0,6 h⁻¹	✔
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en elektr.):		kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	-
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en ventilatie):		kWh/(m²a)		
Behoefte verwarming:	11,6	W/m²		
Temperatuuroverschrijdingen:	24%	meer dan 25 °C		

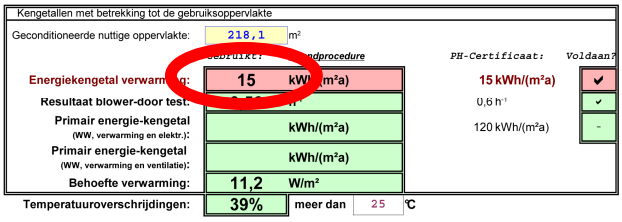
Figuur 12: PHPP-berekening aangepaste oriëntatie (PHP vzw)

Gesteld dat de raampartijen gericht op de tuin, die nu noordelijk gelegen is, behouden blijven en enkel isolatie toegevoegd wordt, dan moet in elk wanddeel (vloer, muur, dak) de isolatie met 11 cm toenemen om aan 15 kWh/m² te voldoen.

Een andere mogelijkheid bestaat erin de voorgevel, die nu zuidelijk georiënteerd is, te voorzien van iets grotere ramen zodat er meer passieve zonnewinsten benut worden (figuur 13). En aangezien ramen op het noorden op jaarbasis een verliespost zijn, worden de twee ramen aan de traphal en één groot raam in de leefruimte weggelaten om aan de passiefhuisstandaard te voldoen.



Figuur 13: Noord– en zuidgevel van de gewijzigde oriëntatie met aangepaste ramen (architect Bart Deschoolmeester i.s.m. Herman Remes; PHP vzw)



Kengetallen met betrekking tot de gebruiksoppervlakte				
Geconditioneerde nuttige oppervlakte:	218,1 m²			
		Maandprocedure	PH-Certificaat:	Voldaan?
Energiekengetal verwarming:	15	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	✔
Resultaat blower-door test:	[illegible]	[illegible]	0,6 h⁻¹	✔
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en elektr.):		kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	-
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en ventilatie):		kWh/(m²a)		
Behoefte verwarming:	11,2	W/m²		
Temperatuuroverschrijdingen:	39%	meer dan 25 °C		

Figuur 14: PHPP-berekening bij aanpassing ramen (PHP vzw)

Zoals eerder vermeld, legt een passiefhuisontwerp niet alleen de nadruk op aspecten die afhankelijk zijn van zonnestraling, maar ook en vooral op technieken die betrekking

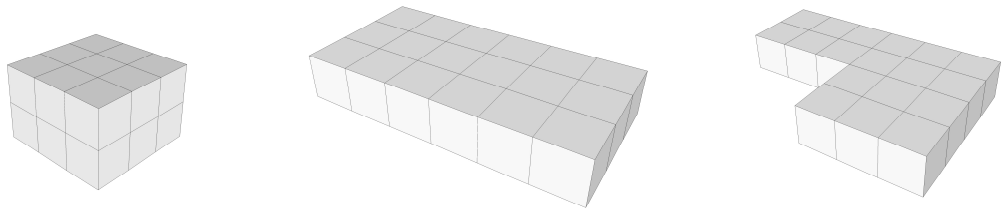
hebben op een hoge graad van thermische isolatie, uitstekende luchtdichtheid, ramen en deuren van een hoge kwaliteit en luchtventilatie met warmteterugwinning. Hoewel het optimaal is om het huis naar het zuiden te oriënteren, leert de ervaring dat ook passiefhuizen op noordgeoriënteerde sites voldoende presteren. Het gevolg is dan wel dat de isolatiepakketten nog dikker worden.

De conclusie is dat een goed georiënteerde woning en beglazing een belangrijke invloed heeft op de kostenefficiëntie van een passiefhuis.

2.2 Compactheid

Omdat de buitenschil de verwarmde ruimtes omhult, is het belangrijk te streven naar een zo klein mogelijk verliesoppervlak. Hoe kleiner het totale verliesoppervlak, hoe minder warmteverliezen er zijn. Ook omwille van kostenefficiëntie heeft men er alle belang bij om een goede compactheidsgraad na te streven.

Omdat de transmissieverliezen van een gebouw een belangrijk aandeel vormen in de energiebalans van een gebouw en deze rechtstreeks evenredig zijn met de grootte van de totale verliesoppervlakte, is het belangrijk om te trachten een maximaal binnenvolume te creëren met een minimaal buitenoppervlak. De ideale vorm is een bol. De compactheidsgraad C = V/A weerspiegelt deze gebouweigenschap. Hoe groter de compactheidsgraad, hoe beter. Voor eenzelfde volume kan de compactheidsgraad echter verschillen (figuur 15). Dit wordt via onderstaand voorbeeld met 3 gebouwen, die opgebouwd zijn uit eenzelfde hoeveelheid kubusjes van 3 m x 3 m x 3 m, aangetoond.



GEBOUW A	GEBOUW B	GEBOUW C
A_T= 378 m²	A_T= 386 m²	A_T= 504 m²
V= 486 m³	V= 486 m³	V= 486 m³
C= 1,29	**C= 1,26**	**C= 0,96**

Figuur 15: Verschillende compactheidsgraad voor hetzelfde volume (PHP vzw)

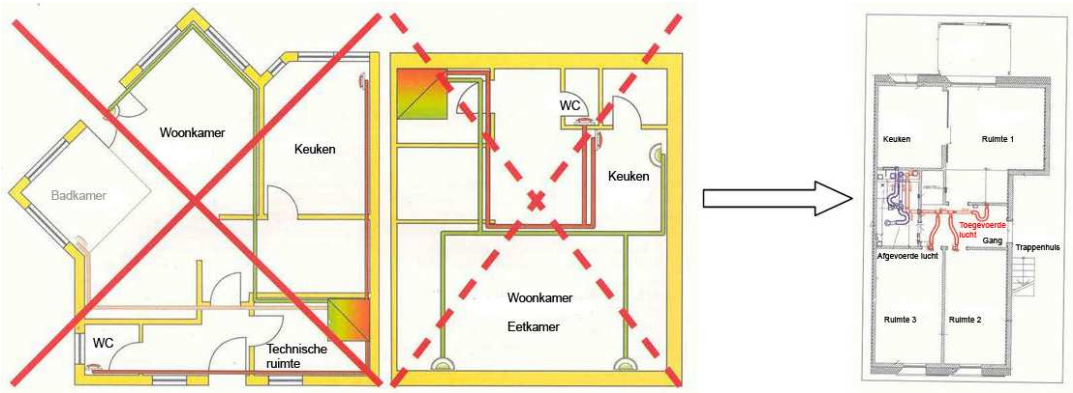
Het totale verliesoppervlak bij gebouw A is 378 m², terwijl dit bij gebouw C al met 33% is toegenomen tot 504 m². Dit betekent dat er bij gebouw C ook 33% meer materiaal zoals gevelisolatie nodig is. Zo ook zal de compactheid van een rijhuis beter zijn dan de compactheid van een open bebouwing omdat de gemene muren van een rijhuis niet als verliesoppervlakte in rekening moeten worden gebracht. Bij het ontwerpen is het dus aangewezen om een zo klein mogelijke verliesoppervlakte te creëren. Een hoge compactheidsgraad draagt bij tot de kostenefficiëntie van het project.

2.3 Doordachte planopbouw

Indien al bij het voorontwerp rekening gehouden wordt met de plaatsing van leidingen, ventilatiekanalen, technische ruimte, enz. zal dat leiden tot het gemakkelijker behalen van het constructiedoel.

Een passiefhuis wordt geventileerd via een balansventilatiesysteem met warmte-recuperatie. Korte en directe luchtkanalen komen zowel de efficiëntie van het systeem als de installatiekosten ten goede (figuur 16). De ruimte voor de leidingen moet tijdens het ontwerpproces in rekening gebracht worden. De architect kan best samenwerken met een ontwerper van klimaatinstallaties om zo de juiste dimensies en ruimtelijke eisen van het leidingennetwerk efficiënt in het ontwerp te integreren. Bovendien moeten de inblaas- en extractiemonden zo geplaatst worden dat een goede spoeling van de ruimtes gewaarborgd is. Ook de afstanden van de warmwaterproductie tot het tappunt dienen zo kort mogelijk te zijn. Dat is vooral van toepassing in de keuken omdat zich daar het meest gebruikte tappunt bevindt. Indien men gebruik maakt van een hotfillwasmachine en/of –vaatwasmachine, dient de afstand tot de warmwaterproductie kleiner te zijn dan 5 m. Kort leidingverloop verhoogt het rendement van de installatie omdat leidingverliezen beperkt worden. Hotfilltoestellen hebben geen nut wanneer ook het warm tapwater elektrisch wordt geproduceerd.

Valse plafonds in bergingen, badkamers, hallen, vestiaires, enz. zijn geschikte ruimtes voor het leidingennetwerk. Ook verhoogde vloeren zijn geschikt voor leidingen. Om zo weinig mogelijk het lucht– en dampscherm te doorboren, dienen de leidingen zich best onder of voor het lucht- en dampscherm van het dak of de muur te bevinden. Voor wanden en daken is het steeds nuttig om een leidingenspouw te voorzien, zodat het dampscherm ook bij het gebruik van het gebouw niet wordt doorboord. Voor kantoren wordt vaker een verhoogde vloer toegepast en wordt het plafond als thermische massa toegankelijk gehouden voor de luchtstroom. Een passiefhuis gebruikt de interne warmtelasten afkomstig van huishoudtoestellen, verlichting, enz. om in de winter voldoende te verwarmen. Ook warmteverliezen van boilers of warmtegenerators kunnen hergebruikt worden als verwarming. Dit is echter geen pleidooi voor slecht geïsoleerde boilers aangezien in de zomer deze warmteverliezen gemist kunnen worden.



Figuur 16: Vergelijking ventilatieschema's (Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)

Zoals in figuur 17 duidelijk weergegeven wordt is het werken met een functiewand of functiekoker heel nuttig. Het voordeel van dergelijk ontwerp is dat leidingverlopen beperkt blijven en de rest van de ruimte vrij flexibel invulbaar is. Aangezien in het passiefhuisconcept de verwarmingsbehoefte klein is en dus met een klein vermogen gedekt kan worden, zijn traditionele verwarmingssystemen overbodig. Ook in koudere klimaten is het onnodig verwarmingssystemen onder ramen te plaatsen om koude tocht afkomstig van de raamoppervlakken te voorkomen, op voorwaarde dat men opteert voor passiefhuisschrijnwerk en passiefhuisbeglazing. Voor het ontwerp van een woning betekent dat dat de gehele vloeroppervlakte vrijgemaakt kan worden voor actief gebruik.

Zo wordt bijvoorbeeld het compacte volume van onderstaande woning binnenin volledig vrij gelaten, zonder binnenwanden of tussenvloeren. De benodigde technieken, slaapkamers en badkamer worden ondergebracht in een lange box, die los in de open ruimte staat. Deze doet dienst als afscheiding voor de privéruimten, vormt de inkom naar de eigenlijke leefruimte en herbergt de keuken, berging, technische ruimte en dressing.

Figuur 17: Passiefhuis Deinze (denc!-studio bvba)

Het centraliseren van de technieken en natte cellen, heeft als voordeel dat de overige ruimte vrij blijft. Dit geeft aan de bewoners een grote flexibiliteit en de woning kan voortdurend aangepast worden aan veranderende behoeften van de bewoners.

Andere aspecten die in het planconcept toegepast kunnen worden zijn de oriëntering van de functies. Zo kunnen functies die een hogere temperatuur vragen (zoals de leefruimtes) op het zuiden georiënteerd worden, ruimtes die minder warmte vragen (zoals slaapkamers, bergruimtes,…) op het noorden of halfondergronds.

Zo zijn de slaapkamers in deze passieve woning (figuur 18) halfondergronds gesitueerd omdat die een lagere temperatuur vragen dan de leefruimte die bovenaan is gelegen en door het open plan wil profiteren van het natuurlijke schouweffect.

Figuur 18: Passiefhuis Drongen (Mozaiek ingenieur-architecten)

Een belangrijk detail is dat kelders met inbegrip van de toegang best buiten het beschermd volume worden gehouden, indien er zich geen woonfuncties in bevinden. Garages kunnen sowieso niet tot het luchtdichte deel behoren, aangezien er momenteel nog geen passiefhuisgaragepoorten bestaan.

Koudebruggen kunnen ook reeds in de planopbouw zo veel mogelijk vermeden worden, bijvoorbeeld het centraliseren van de nutsvoorzieningen, en de bodem-luchtwarmte-wisselaar, die het huisvolume penetreren. Voor de planning van terrassen dient steeds een thermische onderbreking te worden voorzien, wat maakt dat bij passiefhuizen vaak vrijstaande terrasconstructies voorkomen.

Andere duurzaamheidaspecten waarmee rekening kan worden gehouden is onder andere de flexibiliteit en de toegankelijkheid voor rolstoelgebruikers. Het eenvoudig aanpassen van ruimtes aan de veranderende behoeften van de mens in zijn leven, maakt levenslang wonen mogelijk.

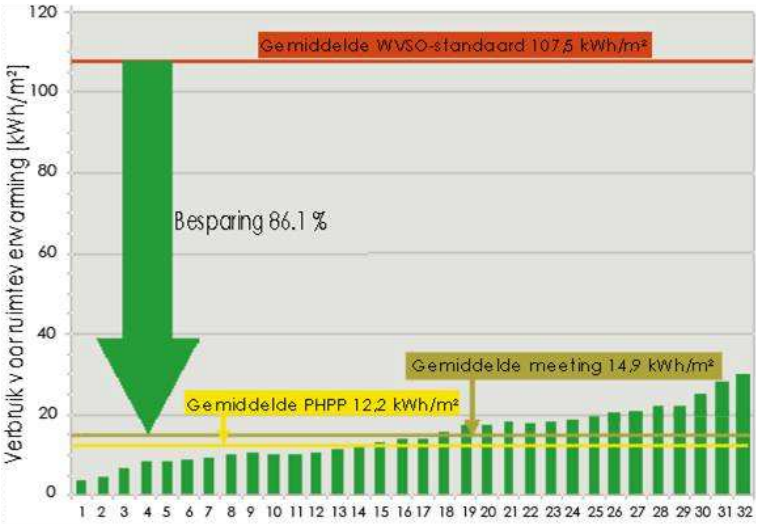
03 Eerste calculatie

Het functioneren van een passiefhuis kan gezien worden als een energiebalans waarbij zeer geringe warmteverliezen en passieve warmtewinsten in evenwicht gehouden worden door een minimum aan verwarming en passieve koeling. De kernvraag bij elk passiefhuisontwerp is dan ook: zal deze balans effectief in evenwicht zijn?

3.1 PHPP-software

PHPP is het ontwerpinstrument bij uitstek tijdens de conceptfase van een gebouw. PHPP (PassiefHuis Project Pakket) heeft zich als rekenprocedure reeds in honderden passieve gebouwen bewezen als hét doeltreffend ontwerpmiddel voor het realiseren en verifiëren van de passiefhuisprestatiecriteria. In het bijzonder heeft het Europese CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standard) project uitgewezen dat de voor PHPP ontwikkelde rekenprocedures voor het berekenen van onder andere verwarmingsbehoefte, in vergelijking met klassieke rekenmethodes, een beter aanvaardbare voorspelling geven van de praktijk. Aan de hand van metingen in diverse passiefhuisprojecten werd tevens de validiteit van PHPP kritisch onderzocht (figuur 19). Dat leidde tot een verbeterde versie, tot het gebruik van het programma voor de certificatie van passiefhuizen in Duitsland en tot de integratie in regelgeving en subsidievormen. Gelet op de wetenschappelijke validatie wordt het PHPP 2003 tegenwoordig ook aangeboden in een Nederlandstalige versie, met klimaatgegevens voor de Benelux gepuurd uit gegevens van diverse weerstations.

Momenteel is er een nieuwere versie ontwikkeld namelijk PHPP 2007, die enkel in het Engels verkrijgbaar is. Hierin zijn diverse aanpassingen gebeurd. In deze versie is het nu mogelijk de koeling te kwantificeren. Verder is deze versie beter afgestemd op de specifieke karakteristieken van tertiaire gebouwen.



Figuur 19: Vergelijking van meetresultaten en berekeningen in het woningbouwproject Hannover Kronsberg (Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)

Het pakket dient een dubbel doel: enerzijds maakt het pakket integraal deel uit van elk passief ontwerpproces, anderzijds vormt het de toetssteen van de certificatieprocedure.

De gegevens die ingevuld dienen te worden, sluiten nauw aan bij de specificiteit van het ontwerp:

- Type berekening: ontwerp of certificatiecontrole?
- Klimaatgegevens: kies een eigen klimaatzone of geef eigen gegevens in.
- Virtueel model: in verschillende sheets, gegroepeerd per onderwerp, worden alle maten ingegeven, evenals wandsamenstellingen en bijhorende U-waarden.
- Vensters krijgen extra aandacht: hun oriëntatie, beschaduwing, enz. hebben immers een zeer grote invloed op passieve zonnewinsten.
- Ook zomerse beschaduwing door externe zonwering dient ingegeven te worden ter controle van het zomercomfort.
- Het ventilatiesysteem, met berekening van debiet, rendement, infiltratie,…
- Warm water: hier wordt enerzijds gekeken naar het warmteverlies en anderzijds naar de energievraag.
- Elektriciteit en verbruik van de toestellen, om het primair energiekengetal (PE-getal) te kunnen berekenen.

3.2 Simulatie vertaald naar Excel®

Gebouwsimulaties kunnen een belangrijk hulpmiddel zijn voor de verificatie van prestatie-eisen zoals gesteld voor passiefhuizen. Maar moet bij elk passiefhuisproject een gedetailleerd dynamisch simulatieprogramma worden ingezet? Tot voor enkele jaren was dat het geval. De kostenefficiëntie van dergelijke simulaties is echter beperkt tot gebouwen van een zekere omvang. Wie de kwaliteit zoekt van een dynamische simulatie maar kiest voor een meer eenvoudige berekening, kan zich beroepen op een statische simulatie-berekening. Deze simulatie bestaat uit een nauwkeurige rekenmethode op basis van een aantal stationaire energiebalansen die op voorhand aan de hand van dynamische ijksimulaties gevalideerd werden. Het rekenpakket PHPP 2003 is zo'n pakket dat toelaat om resultaten van basissimulaties te integreren en toe te passen in een eenvoudig Excel®-rekenbestand. Onder andere volgende gegevens kunnen uit de software gehaald worden:

Dimensioneren van de resterende warmtebehoefte

Met deze software is het mogelijk om de resterende verwarmingsbehoefte te dimensioneren. De software berekent de behoefte aan verwarming na aftrek van passieve zonnewinsten en interne warmtewinsten.

Het primaire energieverbruik berekenen

Met de software kan men ook het primaire energieverbruik berekenen.

3.3 PHPP als ontwerpinstrument

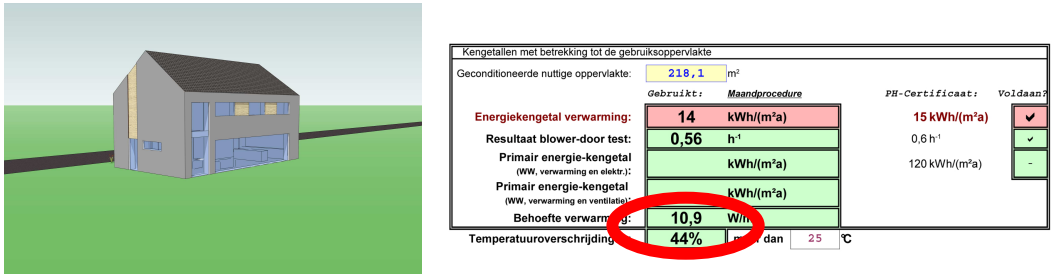
Al van bij de voorontwerpfase van een passiefhuis dient een eerste calculatie uitgevoerd te worden. Zo kan nagegaan worden hoe het voorontwerp zich verhoudt tot de passiefhuisprestatiecriteria. Via het Excel®-rekenbestand wordt onmiddellijk duidelijk wat de invloed is wanneer wijzigingen aangebracht worden in de gebouwenschil, de posities van de ramen, zonwering, enz.

Aangezien nog niet alle componenten van het gebouw gekend zijn tijdens het voorontwerp, kunnen voorlopige waarden ingevuld worden in de PHPP-software. Bij het invullen van deze startwaardes dient steeds uitgegaan te worden van de slechtst mogelijke situatie. Onderstaande tabel geeft een overzicht van welke componenten bij het voorontwerp mogelijk nog niet gekend zijn.

Component	Waarde
U-waarde beglazing	0,8 W/m²K
U-waarde profiel	0,8 W/m²K
g-waarde glas	0,50
$\Psi_{glaslat}$	0,04 W/mK
Ψ_{inbouw}	0,05 W/mK
n_{50}-waarde	0,6 h^{-1}
$\eta_{aardwarmtewisselaar}$	25% (indien van toepassing)
η_{WTW}	75% (automatisch)
IWW	2,1 W/m²
Beschaduwing	25% (automatisch)

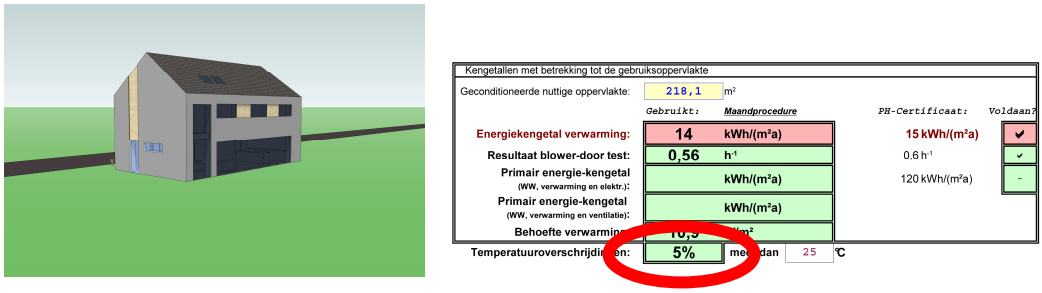
In het vorige hoofdstuk werd al gebruik gemaakt van de PHPP-software als ontwerp-instrument voor het bepalen van de oriëntatie van de ramen. Onderstaand voorbeeld toont hoe met behulp van de software oververhitting vermeden kan worden. Dat wordt opnieuw geïllustreerd aan de hand van dezelfde woning.

Bij oplevering van deze woning was nog geen zonwering aangebracht en het oververhittingpercentage bedroeg toen 44% (figuur 20).



Figuur 20: Oververhittingpercentage (architect Bart Deschoolmeester i.s.m. Herman Remes; PHP vzw)

Aangezien het oververhittingpercentage voor residentiële gebouwen best lager is dan 10% (voor tertiaire gebouwen is het maximum 5%), is een externe zonwering hier aangewezen. In deze woning werd geopteerd voor verticale screens op de zuidelijk georiënteerde beglazing. Aan de hand van de software kan nu nagegaan worden of deze maatregel voldoende is.



Figuur 21: Oververhittingpercentage met zonwering (architect Bart Deschoolmeester i.s.m. Herman Remes; PHP vzw)

Na berekening (figuur 21) wordt duidelijk dat door het aanbrengen van screens op de zuidelijke beglazing het oververhittingpercentage daalt tot 5%.

De positionering van de ramen en het vermijden van oververhitting zijn slechts een paar voorbeelden waarbij de software als ontwerpinstrument ingezet kan worden.

04 Gedetailleerd ontwerp

Na het voorontwerp en een eerste calculatie wordt het ontwerp verder uitgewerkt. In volgend hoofdstuk komen verschillende punten aan bod die in deze fase een bijzondere aandacht verdienen.

Een passiefhuis is gebaseerd op prestatie-eisen uitgedrukt in termen van verwarmings-energieconsumptie, luchtdichtheidsniveau en totale primaire energieconsumptie. Een prestatieconcept laat het ontwerpteam toe te beslissen hoe de eisen ingevuld worden. De lage-energievereiste wordt bereikt door optimale benutting van warmtewinsten en maximale reductie van de warmteverliezen.

4.1 Thermische verliezen beperken

4.1.1 Thermische isolatie

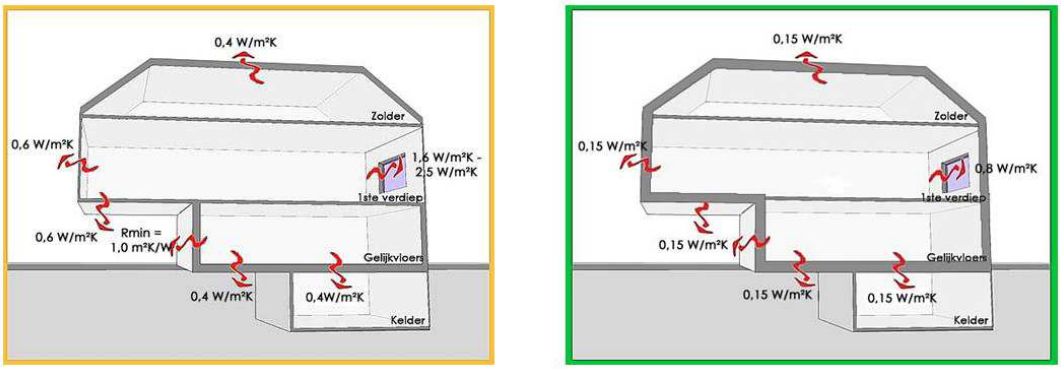
Een goede isolatie is zonder twijfel de beste investering bij zowel nieuwbouw als renovatie. Hoe beter geïsoleerd, hoe lager het warmteverlies via vloer, muur en dak. Zowel financieel als ecologisch is dat een goede zaak. Door minder warmte verloren te laten gaan, kan immers aanzienlijk bespaard worden op het energieverbruik, wat een lagere energiefactuur met zich meebrengt. Zelfs rekening houdend met de energie die nodig is voor het produceren van isolatiematerialen, blijft de uitstoot van broeikasgassen aanzienlijk lager. Isolatie komt bovendien het binnencomfort ten goede in alle seizoenen. ’s Winters houdt isolatie de warmte binnen, ‘s zomers blijft een geïsoleerde woning langer koel. Let op: een goede isolatie dient altijd gepaard te gaan met een goede luchtdichtheid, een degelijk ventilatiesysteem en externe zonwering.

De isolatiereglementering spreekt van een dimensieloos K-peil dat berekend wordt aan de hand van de U-waarden van alle onderdelen van de buitenschil (muur, dak, vloer,…) en de compactheid van het gebouw. Hoe compacter het gebouw, hoe minder warmteverliesoppervlak, dus hoe beter. Pas vanaf september 1992 moest elke nieuwe woning in Vlaanderen voldoen aan minimale isolatie-eisen, toen vastgelegd op een K-peil van 65, kortweg K65. Een jaar later werd de eis aangepast tot K55.

Sinds januari 2006 is in Vlaanderen de isolatienorm opnieuw strenger geworden en beter

gecontroleerd met de nieuwe regelgeving: ‘Energie Prestatie en Binnenklimaat van gebouwen’ (EPB).

De EPB legt 5 soorten eisen op. De eerste twee eisen stellen iets strengere thermische isolatie-eisen. Het maximale K-peil daalt van K55 naar K45 en tevens zijn er strengere U-waarden voor de bouwcomponenten opgelegd (figuur 22). De derde energieprestatie-eis legt een maximaal E100-peil op. De vierde en vijfde eis gaat over het binnenklimaat. Een minimale ventilatievoorziening is verplicht en het risico op oververhitting in de zomer moet beperkt worden.



Figuur 22: Vergelijking regelgeving U-waarden: links EPB-regelgeving; rechts de passieve aanbevelingen (PHP vzw)

Een passiefhuis gaat echter een stuk verder. In de eerste plaats worden in passiefhuizen de transmissieverliezen doorheen de buitenschil beperkt door zo efficiënt mogelijk te isoleren. Uit praktijkvoorbeelden van passiefhuizen blijkt dat de isolatie in de wanden met courante materialen momenteel kan variëren van 15 tot 40 cm, afhankelijk van het gebruikte isolatiemateriaal, oriëntatie, compactheid,… Een minimum isolatiedikte wordt door het passiefhuisconcept niet opgelegd, wel een streefwaarde voor de maximale warmtedoorgangscoëfficiënt U voor vloer, muur en dak (figuur 23 rechts).

Er zijn verschillende soorten isolatiematerialen (figuur 23) op de bouwmarkt. Welk materiaal het beste is, kan onmogelijk gezegd worden. Ze hebben elk hun typische eigenschappen die de isolator geschikt maakt voor specifieke toepassingen. Zowel de fabricage als de plaatsing van de isolatie en de afdichting spelen daarbij een rol. Voor specifieke toepassingen kunnen technische goedkeuringen (ATG) van de isolatiematerialen dienen als referentie.

- **Minerale wollen (MW).** De meest gebruikte soorten zijn glas– en steen– of rotswol. Steenwol bestaat uit het vulkanische gesteente diabaas of basalt, glaswol bestaat uit siliciumzand, soda en mergel. Vaak wordt ook een deel afvalglas gebruikt. Beide materialen worden gemaakt door bovenvermelde mengsels te smelten en te spinnen tot vezels. Deze vezels worden met bindmiddelen tot matvormen of platen verwerkt.

- **Kunststofschuimen.** De kunststofplaten kunnen in zes grote groepen verdeeld worden: geëxpandeerd polystyreen (EPS), geëxtrudeerd polystyreen (XPS), polyurethaan (PUR), polyiso-cyanuraat (PIR), PF-schuim (resol) en UF-schuim (Ureum formaldehyde schuim). Ze bestaan allen hoofdzakelijk uit petrochemische producten. In de bouw komen deze materialen hoofdzakelijk in plaatvorm voor. Polyurethaan kan ook ter plekke op de werf worden gespoten in beschermde omstandigheden.

- **Cellenglas (CG).** Geschuimd glas is een minerale isolatie met een microcellulaire structuur. Het wordt gevormd door een mengsel van gemalen glas, zand en koolstof. Het is een anorganisch, opgeschuimd product. Cellenglas komt voor als plaat–, blok– of gruismateriaal.

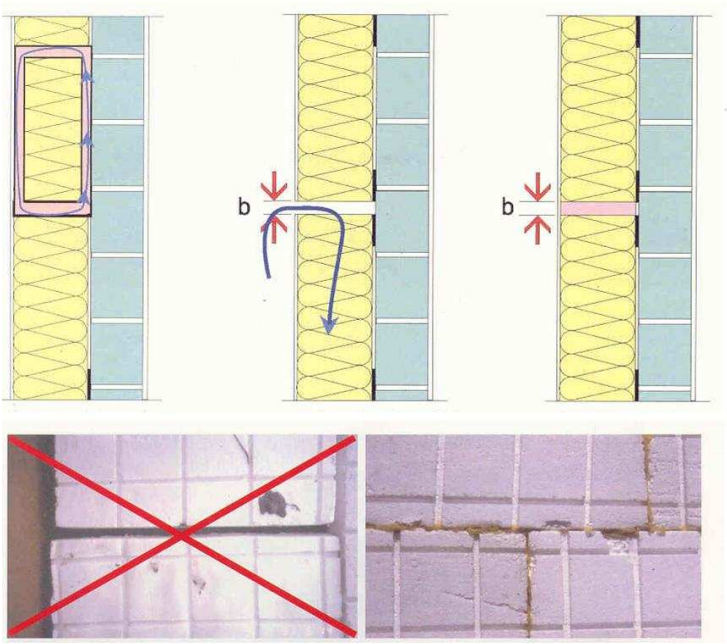
- **Houtvezels (WF).** Na de vervezeling wordt het hout ofwel in een droogproces verhit en met steunvezels of bindmiddel gebonden tot zachte of harde platen, ofwel gekookt en geperst tot stijve platen.

- **Cellulose.** Deze isolatiematerialen bestaan uit restanten van oude kranten. Ze zijn gekend vanwege hun goede vochtregulerende eigenschap. Al naargelang de toepassing kan het materiaal verkregen worden in vlokken of platen.

- **Andere materialen uit nagroeibare grondstoffen.** Deze zijn gemaakt van nagroeibare plantaardige en dierlijke grondstoffen, zoals vlas, kurk, hennep, stro, schapenwol en pluimen. Ze zijn in verschillende vormen beschikbaar: dekens, platen,…

Figuur 23: Voorstelling van verschillende isolatiematerialen (PHP Technologiewijzer isolatie)

Belangrijk bij de plaatsing van isolatie zijn de aansluitingen tussen de verschillende isolatiestukken. Spleten en kieren in de isolatie zorgen voor warmteverlies. Figuur 24 toont de mogelijke problemen die kunnen ontstaan bij een onnauwkeurige plaatsing. Kringvormige samenhangende holtes bijvoorbeeld kunnen leiden tot condensatie, schimmels en zo het isolerend vermogen teniet doen. Het probleem kan opgelost worden door de spleten en holtes op te vullen met isolatiemateriaal (figuur 25). Het risico op slecht geplaatste isolatie kan beperkt worden door geschrankte plaatsing van de isolatie waarbij er steeds een naadoverlapping is.



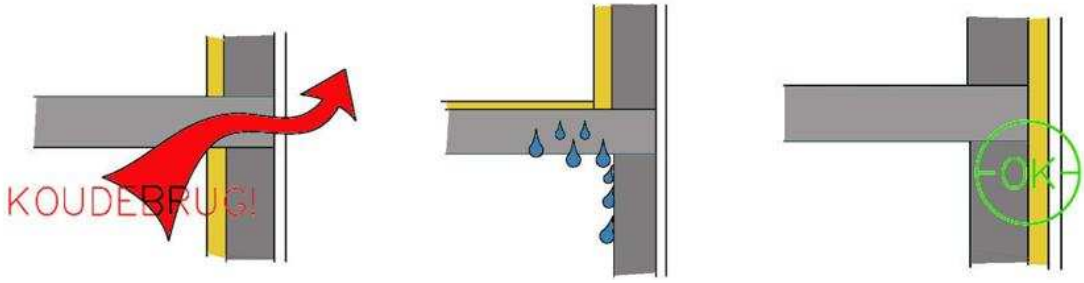
Figuur 24: Mogelijke problemen bij onnauwkeurige plaatsing van thermische isolatie
Figuur 25: Opvullen van de openingen met thermische isolatie
(Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)

4.1.2 Koudebrugvrij construeren

Dagelijks wordt door bewoning 3 liter vocht geproduceerd per persoon. Bij een onvoldoende snelle vochtafvoering in de woning condenseert dat vocht op de koudste oppervlakken en kan schimmel ontstaan. Deze koude schakels in de isolatiemantel worden koudebruggen genoemd. Het komt erop aan bij alle knooppunten in de constructie rond het gebouw, koudebruggen in de isolatiemantel zoveel mogelijk te vermijden. Dat kan door ervoor te zorgen dat het isolatiemateriaal overal en met extra aandacht voor "risicovolle plaatsen", volledig op elkaar aansluit. Op een tekening van een doorsnede van een gebouw moet heel de isolatielaag rondom het gebouw zonder enige onderbreking te volgen kunnen zijn. Wanneer een isolatielaag toch onderbroken wordt, moet de warmtedoorgangscoëfficiënt van de onderbreking zo laag mogelijk zijn, bijvoorbeeld met blokken van cellenglas die bij aanzet van het metselwerk geplaatst worden (figuur 26). Bij een maximaal luchtdicht en thermisch hoogwaardig geïsoleerd passiefhuis kan de impact van koudebruggen bijzonder groot zijn. Naast het onnodige warmteverlies vergroot het condensatierisico.

Figuur 26: oplossing van een koudebrug aan de funderingsaanzet (links: passiefhuis Hoeilaart, architect Ingrid Van Hoof; PHP vzw) (Rechts: Brochure energiezuinig bouwen en verbouwen; Vlaamse Overheid)

Frequente problemen doen zich voor bij dorpels, op plaatsen waar de spouwmuur op de fundering rust, daar waar een binnenmuur aansluit op een buitenmuur, waar een vloerplaat de buitenmuur raakt (figuur 27), aan balkons en lateien, enz. Men kan het probleem beter vermijden door bijvoorbeeld constructieonderdelen zoals lateien en balkonuitkragingen thermisch te onderbreken en de vloeropleg enkel op de dragende binnenmuur te laten rusten.



Figuur 27: Koudebrugwerking bij aansluiting van wand en vloerplaat (PHP vzw)

Omdat een koudebruganalyse een twee– of zelfs driedimensionale beoordeling vraagt, wordt in de praktijk best gebruik gemaakt van specifieke softwarepakketten waarmee dergelijke analyses uitgevoerd kunnen worden. Om eenvoudige koudebrugberekeningen uit te voeren kan gebruik gemaakt worden van het gratis te verkrijgen programma THERM van de universiteit van Californië. Om de transmissieverliezen doorheen koudebruggen te beperken, stelt het Passiefhuis-Platform een streefdoel op voor de lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt: $\psi < 0{,}01$ W/(m.K).

In het kader van het Presti 5 project is Passiefhuis-Platform bezig met het ontwikkelen van bouwdetails voor houtskeletbouw en massiefbouw. Bij deze bouwdetails wordt aandacht besteed aan het doorlopende isolatieschild, waarbij koudebruggen tot een minimum beperkt worden.

Ook een PEP-project verrichte al onderzoek naar de verschillende constructiemethodes die toegepast worden in de landen van de diverse PEP-partners. Deze publicatie kan

gratis gedownload worden op de volgende site:

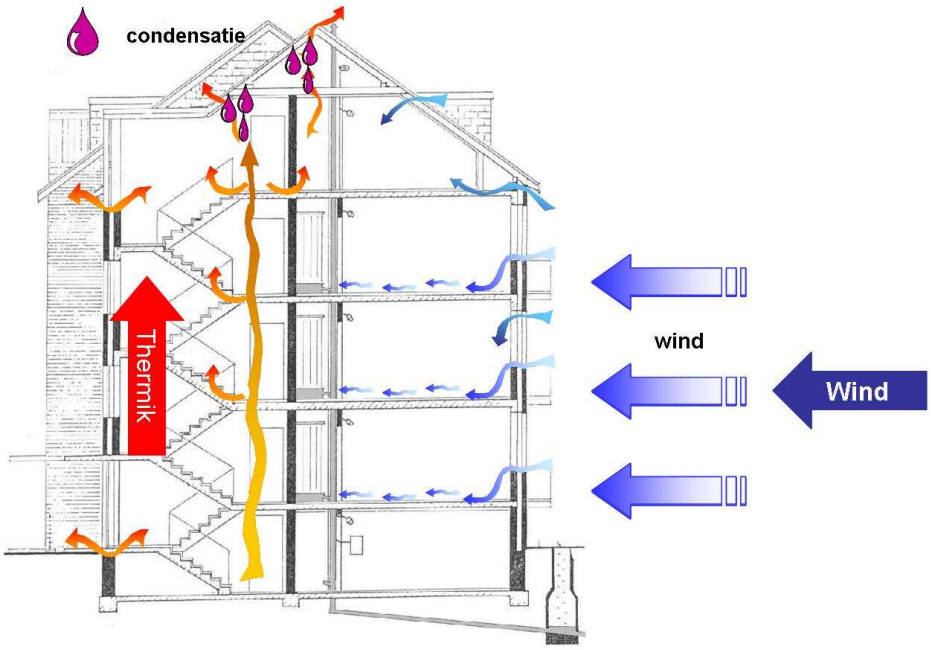
www.europeanpassivehouses.org

4.1.3 Luchtdichtheid

Luchtdicht bouwen, in combinatie met een goede ventilatie is een belangrijke stap in het verminderen van het energieverbruik van een woning. Luchtdicht bouwen betekent dat ongecontroleerde lekverliezen en tocht vermeden worden. Dat vraagt natuurlijk wat aandacht in de planning, uitvoering en controle van de bouwwerkzaamheden, en een logische keuze van materialen, bouwtechnieken en dergelijke.

Een goede luchtdichting is essentieel voor een efficiënte en rationele ventilatie-huishouding. Er heerst nog vaak de koppige overtuiging dat verluchting door de natuurlijke voegen en kieren in de woning voldoende is. Volgens deze denkwijze zou een niet-luchtdicht gebouw automatisch en van nature goed verlucht worden. Niets is minder waar! Natuurlijke ventilatie door kieren en gaten is alles behalve constant. De verluchting hangt dan af van de winddruk, temperatuur, gebouwvorm, windrichting,… Gedreven door drukverschillen tussen de binnen– en buitenomgeving kunnen ongecontroleerde luchtlekken immers aanleiding geven tot de kortsluiting van gewenste ventilatiestromen, het verspreiden van geuren en verontreinigingen, overdreven energieverbruik en tocht.

Daarbij komt nog dat tochtlekken op termijn vaak heel wat bouwschade kunnen veroorzaken. In de winter kan koude lucht het gebouw binnenstromen via de naar de wind gekeerde zijde van het gebouw. Gevolgen hiervan zijn tochtverschijnselen, koude vloeren en eventueel zelfs de inwerking van schadelijke stoffen (vezels, stofdeeltjes, pollen). Deze koude lucht moet natuurlijk opgewarmd worden om het intern thermisch comfort te garanderen, wat een aanzienlijke stijging van het energieverbruik tot gevolg kan hebben. Aan de andere zijde van het gebouw ontstaat een onderdruk en wordt vochtige, warme binnenlucht naar buiten gezogen. Deze lucht koelt op zijn weg naar buiten af, bereikt mogelijks zijn dauwpunt en het aanwezige vocht zal dan condenseren (figuur 28). Deze condensatie kan op termijn tot aanzienlijke schade in de constructie leiden. Tenslotte kan een gebrek aan luchtdichtheid van de binnenwanden van meergezinswoningen en kantoorgebouwen leiden tot slechtere akoestische prestaties en makkelijkere brandoverslag.



Figuur 28: Voorstelling relatie luchtlekken en condensatie (Passiefhuissymposium 2003; Sigrid Dorschky - Blowerdoor)

De Belgische norm NBN D50-001 stipt luchtdicht bouwen aan als een wezenlijk onderdeel van een correcte ventilatiestrategie, maar stelt geen specifieke eisen. Wel worden er richtlijnen gegeven inzake maximaal ventilatievoud bij een drukverschil van 50 Pa (bij mechanische ventilatie maximaal 3 volumes per uur en bij warmterecuperatie maximaal 1 volume per uur). Passiefhuis-Platform bepaalt dat voor passiefhuizen in België de voorschriften van het Duitse Passiv Haus Institut gelden. Dat betekent dat een luchtdichtingsgraad $n_{50} \leq 0.6\ h^{-1}$ gehaald moet worden om te voldoen aan de hoge comfortvereisten en het energieprestatieniveau.

Om te weten of een gebouw al dan niet luchtdicht is, moet het getest worden. Een pressurisatieproef of Blowerdoor test (figuur 29) volgens de norm NBN EN 13829, bepaalt de mate van luchtdichtheid van een gebouw, of is met andere woorden de kwantitatieve beoordeling van de luchtdichtingsgraad. De opzet van deze proef is relatief eenvoudig: tussen de binnen– en buitenomgeving wordt een drukverschil gecreëerd, waarna de hoeveelheid weglekkende lucht gemeten wordt. Om een volledige meting te bekomen, worden de waarden gemeten bij een drukverschil gaande van 0 tot 100 Pa. De gemeten waarden worden uitgezet op een grafiek en bij 50 Pa wordt het gemiddelde genomen van de proef uitgevoerd in over– en onderdruk. Belangrijk is dat de proef wordt uitgevoerd tijdens een periode waar er geen sterke wind is en het verschil tussen binnen– en buitentemperatuur niet te groot is.

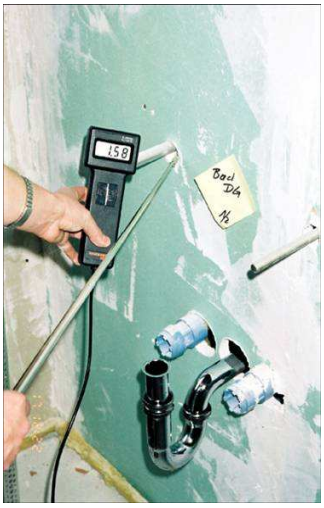
Figuur 29: Blowerdoor test in het passiefhuis in Heusden-Zolder (Equilibrium-team; PHP vzw)

Voor het opbouwen van dit drukverschil wordt in de praktijk meestal gebruik gemaakt van een zogenaamde 'Blowerdoor'. Zoals de benaming aangeeft, wordt bij deze proef een ventilator in een deur– of raamopening geplaatst, die het gebouw in over– of onderdruk plaatst. De ventilator met regelbare snelheid wordt ingebouwd in een frame, dat aanpasbaar is aan de specifieke ruwbouwmaten. Ten minste één raam of deur met een rechthoekige opening moet beschikbaar zijn. Door middel van een regressieberekening van het gemeten drukverschil over de gebouwschil en het luchtdebiet wordt het luchtdebiet voor een genormaliseerd drukverschil van 50 Pa bepaald. De verhouding tussen het benodigde luchtdebiet om dit drukverschil te kunnen opbouwen tot het eigenlijke binnenvolume van het gebouw geeft het ventilatievoud, de n_{50}-waarde.

Het is belangrijk dat bouwdelen die normaal dicht zijn, tijdens de test ook dicht zijn, denk hierbij aan ramen, buitendeuren maar ook aan de zwanenhals van aflopen en dergelijke. Binnendeuren blijven best geopend om een gelijkmatige druk te bekomen.

Om later eventueel nog verbeteringen aan te brengen is het aangewezen de de meting te doen vooraleer de binnenbekleding is aangebracht in een lichte constructie zoals houtskeletbouw, voor zover deze de luchtdichtheid niet beïnvloedt.

Eenmaal geweten is hoe luchtdicht het gebouw is, kan worden nagegaan waar de belangrijkste luchtlekken zich bevinden. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van rookstaafjes of IR-thermografische camera, die duidelijk aangeven waar een luchtstroom zich bevindt en een duidelijke indicatie geven van de stroomsnelheid. Bij doorboringen van de luchtdichte schil kan met behulp van digitale meters de luchtstroom gemeten worden (figuur 30).



Figuur 30: Meting luchtstroom (Passiefhuissymposium 2003; Sigrid Dorschky - Blowerdoor)

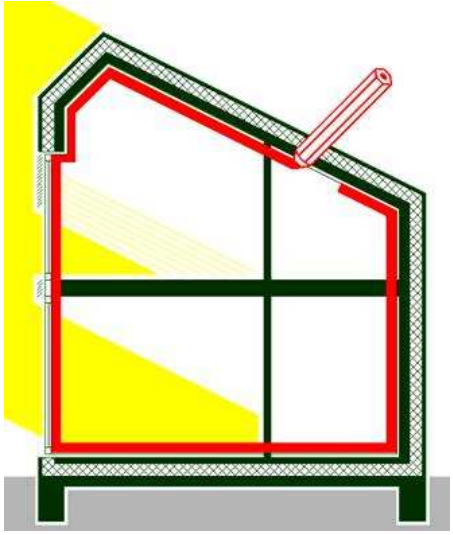
Naast en in combinatie met de Blowerdoor test kan thermografie een handig hulpmiddel zijn voor het opsporen van koudebruggen en luchtlekken. Met behulp van passieve thermografie kan in een momentopname de oppervlaktetemperatuurverdeling van een bouwcomponent zichtbaar gemaakt worden (figuur 31). Het is een snelle, storingsvrije meet– en onderzoeksmethode om warmtetechnische gebreken en bouwschade zoals koudebruggen, luchtdichtheid of vochtschade te lokaliseren. Het uitvoeren van thermografische onderzoeken vraagt een zekere kennis en ervaring. Om betekenisvolle resultaten te bekomen, moeten er een aantal randvoorwaarden gevolgd worden en moeten invloeden van buitenaf overwogen worden. Zo zal er bij voorkeur een meting uitgevoerd worden wanneer het temperatuursverschil tussen de binnen– en buitenomgeving groot is.

In figuur 31 tonen de rode vlekken duidelijk de plaatsen waar de isolatiewaarde van de wand lager is.

Figuur 31: Voorbeeld van thermografiemeting bij de passieve woning te Bocholt (Equilibrium-team; bron: Eddy Taelman - Sanidetectif)

Om een goede luchtdichtheid te garanderen moet een doorlopende luchtdichtheidslaag worden gedefinieerd en geïmplementeerd. Typische zwakke plekken hierbij zijn aansluitingen tussen buiten– en binnenwanden, aansluitingen van daken of vloeren, het buitenschrijnwerk, rolluiken, doorgangen van alle soorten leidingen, openingen naar een ongeïsoleerde zolder, deuren naar een onverwarmde kelder,…

Om een voldoende hoge luchtdichtheidsgraad te bereiken is een gedetailleerde uitwerking van alle bouw- en aansluitingsdetails noodzakelijk. Net zoals de isolatielaag moet de luchtdichting, zonder onderbreking, het gehele gebouw omhullen. De luchtdichtingslaag moet op het plan en de snedes met een stift gevolgd kunnen worden, zonder die stift ook maar één maal van het papier te nemen (figuur 32). Men mag er niet op rekenen dat eventuele lekken door een voor– of achterliggende laag afgesloten worden.



Figuur 32: Voorstelling van de luchtdichtingslaag (PHP vzw)

Uiteindelijk hangt de luchtdichtheid van een gebouw vooral af van een gedetailleerd ontwerp en uitvoering van bouwdetails. Deze details kunnen ondergebracht worden in drie belangrijke categorieën: het vlak, de lijnvormige aansluiting en de puntvormige doorboring.

Luchtdichte vlakken

Elk deel van het gebouw moet over een luchtdichte laag beschikken zodat de basisconstructie van het geheel een luchtdichte gebouwenschil vormt. Hierbij moet onderzocht worden of het materiaal zelf voldoende luchtdicht is, en hoe groot de invloed is van voegen, aansluitingen en overlappingen. Het kan noodzakelijk zijn een luchtdichte laag toe te voegen in de vorm van een PE-folie of bouwpapier. Voor massiefbouw geldt dat metselwerk zelf niet luchtdicht is. Enkel indien de gehele buitenwand bekleed is met een

ononderbroken binnenbepleistering is de wand voldoende luchtdicht.

Bij houtskeletbouw stelt zich de vraag of de binnenbekleding voldoende garanties biedt op vlak van luchtdichtheid. Bij bepaalde constructies in houtskeletbouw wordt een dampscherm geplaatst aan de binnenzijde van de constructie. Aangezien enkel dampdichte materialen in aanmerking komen als dampscherm is de luchtdichting op die manier verzekerd. Wanneer er echter gewerkt wordt zonder dampscherm, moet gezocht worden naar andere methoden om de luchtdichtheid te garanderen.

Lijnvormige aansluitingen

Volgens een Duits rapport komen zelfs in een compacte eengezinswoning met een eenvoudig grondplan lijnvormige, potentiële luchtlekken voor van in totaal 150 tot 300 meter (Zeller, 1995). Dat geeft aan hoe belangrijk de aansluitingen zijn in het geheel van de luchtdichting. Afhankelijk van de gebruikte materialen en constructie moet onderzocht worden hoe de luchtdichting naadloos kan aansluiten. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van folies, samendrukbare dichtingsband, dubbelzijdig klevende afdichtingsband enzovoort (figuur 33).

Figuur 33: Luchtdichtheid passiefhuis Heusden-Zolder (Equilibrium-team; PHP vzw)

Puntvormige doorboringen

Hier geldt de algemene stelling dat voorkomen beter is dan genezen. Vanaf de planningsfase wordt best een strategie bepaald om deze doorboringen te beperken of op te lossen. Enkele doorboringen zijn echter onvermijdelijk, zoals aansluitingen van nutsleidingen en af– en aanvoer van ventilatielucht.

Bij massiefbouw, waar gerekend wordt op de binnenbepleistering voor de luchtdichtheid,

vormt elk stopcontact en elke lichtschakelaar in de buitenwand een luchtlek. Dat kan opgelost worden door de bepleistering in de opening te laten doorlopen, door de elektrische leidingen zo veel mogelijk in binnenwanden te voorzien of door gebruik te maken van elektrische inbouwdoosjes die de nodige luchtdichting kunnen verzorgen.

In geval van houtskeletbouw wordt vaak een leidingenspouw voorzien (figuur 34.2). Dit betekent dat de binnenbekleding door middel van een stijl– en regelwerk enkele centimeters vóór de luchtdichtingslaag geplaatst wordt, zodat elektrische en andere leidingen probleemloos tussen beide lagen verborgen kunnen worden.

Figuur 34: 1. Luchtdichte leidingaansluiting (architect Greta Sabbe; PHP vzw)

2. Leidingenspouw passiefhuis Torhout (architect Greta Sabbe; PHP vzw)

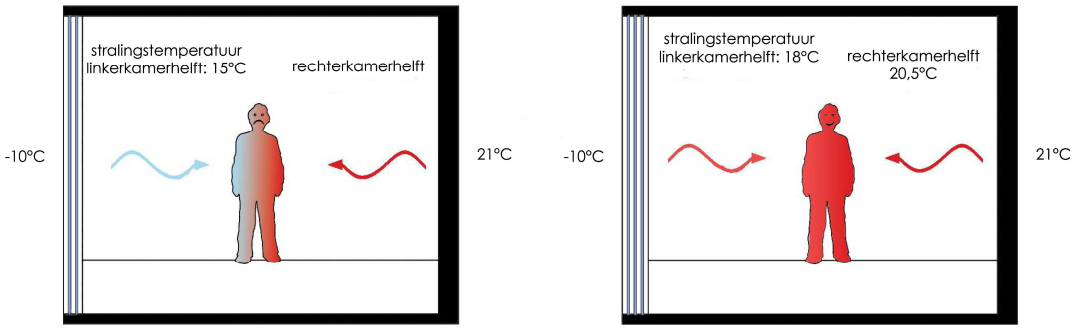
4.1.4 Schrijnwerk

Isolatie speelt een belangrijke rol in het behalen van de passiefhuisstandaard. Omdat ramen vaak het zwakke punt zijn in de isolatie- en luchtdichtheidsschil, wordt er in passiefhuizen extra aandacht aan besteed. De hoeveelheid glas, de plaatsing en de oriëntatie spelen een belangrijke rol. Het drievoudig glas is zo ontwikkeld dat het, mits juiste plaatsing en dimensionering, werkt als een passieve zonnecollector. Een raam zorgt voor direct contact tussen binnen en buiten. Dat kan door vaste ramen, opengaande ramen, schuiframen of draaikip ramen. Het raamkader vormt de verbinding tussen de constructie en het glas. Om het thermische comfort in een passiefhuis te garanderen is het belangrijk dat zo weinig mogelijk warmte verloren gaat via het geheel van raamkader en glas.

Beglazing

Ons thermisch comfortgevoel wordt niet alleen bepaald door de luchttemperatuur in de kamer. Ook de oppervlaktetemperatuur van de ons omgevende wanden is erg belangrijk. In een passiefhuis vormen de ramen geen koude stralingsvlakken en is het verschil tussen de oppervlaktetemperatuur van de wanden en de ramen minimaal. Het passiefhuisglas heeft een beduidend hogere oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde zodat het

thermische comfort in de wintersituatie sterk verbetert (figuur 35). Zitten aan het raam kan zonder de koude van het glas te moeten compenseren met een verwarmingselement, en zonder aan comfort in te boeten.



Figuur 35: Verschil in stralingstemperatuur bij gewone dubbele beglazing en bij passiefhuisglas (PHP vzw)

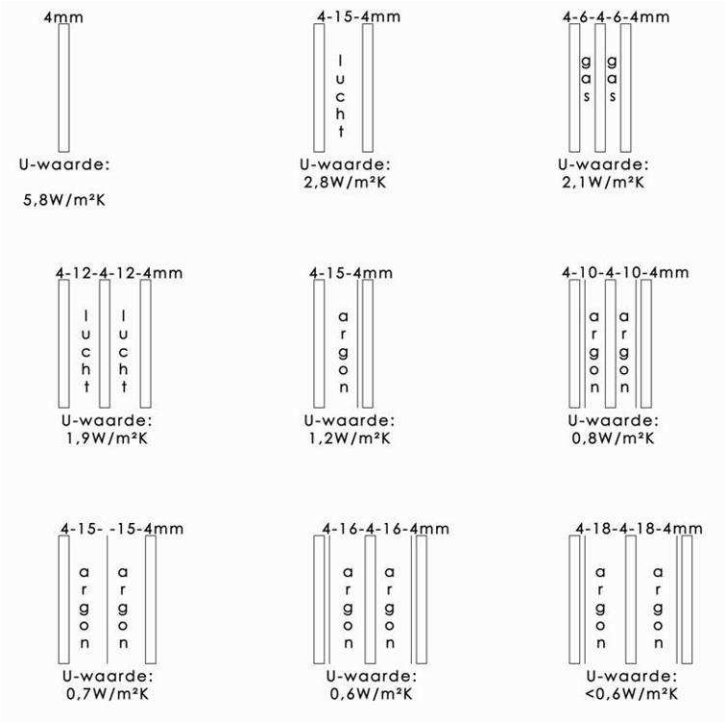
Gedurende de laatste twee decennia is de U-waarde van courant toegepast glas met een factor 10 verbeterd. Terwijl de vroeger gebruikelijke enkele beglazing een U-waarde van 5,6 W/m²K had, is men over dubbel glas en verbeterd dubbel glas geëvolueerd naar drievoudige passiefhuisbeglazing met U-waardes van 0,8 W/m²K en lager.

Tot in het begin van de jaren ’70 was het gebruik van enkel glas de standaardpraktijk. Omdat de thermisch isolerende eigenschappen ervan zo slecht waren, diende evenwel gezocht te worden naar andere mogelijkheden (figuur 36).

Het ‘gewoon’ dubbel glas, opgebouwd uit twee glasplaten gescheiden door een spouw gevuld met droge lucht, was een eerste soort warmte-isolerende beglazing. Hoewel het concept dateert van de jaren veertig, kende het pas echt ingang onder impuls van de oliecrisissen van 1973 en 1979. De verbeterde prestaties zijn toe te wijzen aan het feit dat een ingesloten, droge luchtlaag merkelijk minder warmte geleidt dan glas (warmtegeleidingcoëfficiënt λ_{glas} = 1 W/mK terwijl λ_{lucht} = 0,025 W/mK). Bij een toenemende spouwbreedte stijgt zelfs het isolerend vermogen. Het heeft echter geen zin de spouwdikte eindeloos te vergroten, aangezien de convectiestromen van de verpakte lucht ervoor zorgen dat vanaf zo’n 15 mm spouwbreedte geen significante verbeteringen meer merkbaar zijn. De toepassing en verbetering van ‘gewoon’ dubbel glas zijn dus beperkt en er moest gezocht worden naar andere technieken.

Aangezien het isolerende vermogen wel verbeterd wordt door de integratie van een luchtlaag, maar dit anderzijds beperkt blijft door convectieproblemen bij bredere spouwen, bleek de keuze voor verscheidene, in de breedte beperkte en in serie geplaatste spouwen voor de hand te liggen. We spreken dan over meervoudige beglazing. Een variant hierop is dubbele beglazing met één of meerdere in de luchtspouw gespannen kunststoffolies. Zo wordt de spouwbreedte van de verschillende spouwen beperkt en valt het nadeel van het

extra gewicht van de glasplaten weg. De folies moeten wel perfect gespannen zijn en mogen niet vervormen in de loop der jaren.



Figuur 36: Schema van verschillende glassoorten, hun samenstelling en U-waarden, conform EN 673 (PHP vzw)

Ook de nieuwe ontwikkelingen in coatingstechnieken liggen aan de basis van verbetering van de isolatiekwaliteit van beglazing. Door de afzetting van een zeer dun, doorzichtig metaallaagje aan de spouwzijde van één van de glasplaten kunnen immers de stralingsverliezen worden beperkt. Doorzichtige metaalcoatings met een lage emissiecoëfficiënt (low-E) laten minder langgolvige warmtestraling door en weerkaatsen de door de beglazing geabsorbeerde warmte terug naar binnen.

Een andere mogelijkheid om de isolatiewaarde van de beglazing te verbeteren, is de droge lucht (λ = 0,025 W/mK, ρ = 1,23 kg/m³) te vervangen door een edelgas. Enerzijds zorgt de lagere warmtegeleidingscoëfficiënt voor een reductie van de geleiding en anderzijds zorgt de hogere volumieke massa voor een beperking van de convectie. Uit financiële overweging wordt in de praktijk het meest geopteerd voor argon (λ = 0,017 W/mK, ρ = 1,70 kg/m³) boven bijvoorbeeld krypton (λ = 0,009 W/mK, ρ = 3,56 kg/m³). De invloed van de gasvulling op de warmteverliezen is minder groot dan die van de metaalcoating.

Voor passiefhuisglas worden meestal de verschillende technieken gecombineerd. Een voorbeeld hiervan is een recent ontwikkelde beglazing waarbij U-waardes tot 0,45 W/m²K

gehaald worden door een coating aan te brengen op een folie, opgespannen op een afstand tussen twee glasplaten. Hierdoor worden de voordelen van drievoudige beglazing met het beperkte gewicht van dubbel glas verkregen. Ook drievoudige beglazing met edelgasvulling haalt meestal U- en g-waarden die geschikt zijn voor passiefhuizen.

Criteria voor passiefhuisglas

Transmissieverliezen beperken
→ U-waarde < 0,8 W/m²K

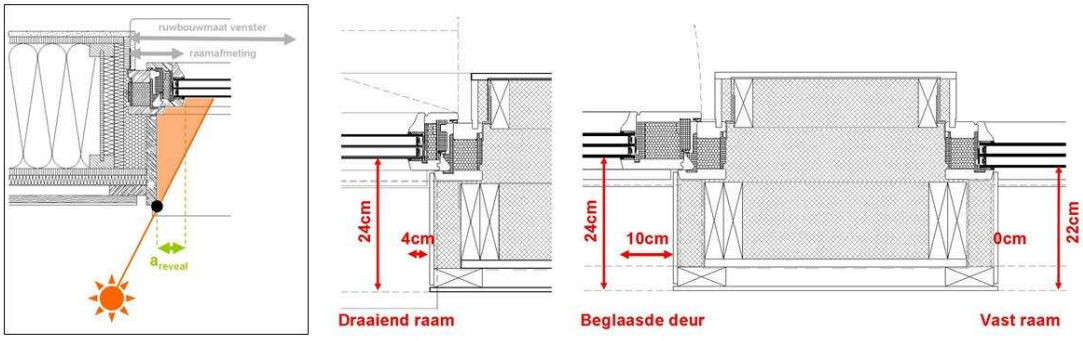
Passieve warmtewinsten optimaal benutten
→ g-waarde > 50 %

In een passiefhuis is een raamopening meer dan een venster op de wereld of een gat in de wand waardoor daglicht naar binnen komt. Een goed georiënteerd, gedimensioneerd en gepositioneerd raam vormt een passieve zonnecollector die gratis warmte opvangt van de buitenomgeving.

Enige voorzichtigheid is echter geboden. Ook al zijn de transmissieverliezen van passiefhuisbeglazing en passiefhuisschrijnwerk gevoelig lager dan deze van gewoon dubbel glas, de vensters blijven maar matig isolerende wanddelen. Beglazingen met U-waardes van minder dan 0,5 W/m²K (een makkelijk haalbare waarde voor een geïsoleerde spouwmuur) zijn nog niet commercieel beschikbaar. Om aan de eisen van het peil van globale warmte-isolatie (K-peil) en van het thermische comfort te voldoen, moet dan ook omzichtig omgesprongen worden met grote glasoppervlakken.

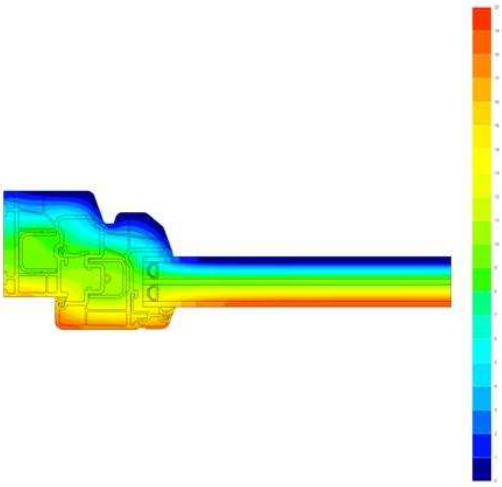
Wat betreft de begroting van het extra benodigd energieverbruik voor verwarming in de winter kan men niet louter rekening houden met de globale zonne-instraling maar moet dit enigszins worden afgeroomd door diverse factoren. Het passiefhuisrekenpakket PHPP houdt onder meer rekening met de impact van de omgevende bebouwing, de structurele luifels, de inbouwdiepte van ramen (figuur 37), de vervuiling en reductie veroorzaakt door niet-loodrechte instraling van de zon op het glas, de zontoetredingsfactor, enz.

De gratis zonnewinsten zijn des te groter naarmate de ramen meer zuidwaarts zijn georiënteerd en niet worden beschaduwd.



Figuur 37: Impact van inbouwdiepte en –lengte van passiefhuis schrijnwerk (PHP vzw)

Een fenomeen dat ook bij beglazing de kop kan opsteken is oppervlaktecondensatie. Lucht kan slechts een beperkte hoeveelheid waterdamp opnemen. Hoe warmer de lucht, hoe meer vocht ze kan bevatten. Door waterdamp toe te voegen of de temperatuur te verlagen kan de lucht verzadigd geraken, en de overtollige waterdamp gaat condenseren. Aangezien de hoeken en de randen van de beglazing normaliter één der minst geïsoleerde en dus koudste wanddelen zijn (figuur 38), zal zich daar het eerst oppervlaktecondensatie manifesteren.



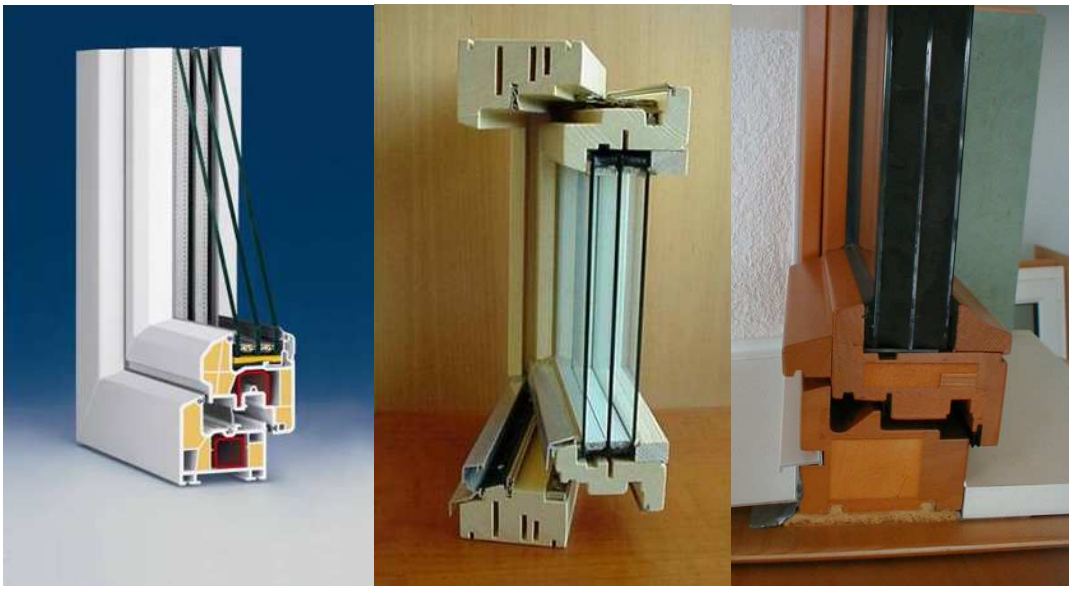
Figuur 38: Voorstelling verloop isothermen (Deceuninck)

Bij zeer goed isolerende beglazing is de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde hoger zodat condensatie aan de binnenzijde veel minder gemakkelijk optreedt. Anderzijds kan dit fenomeen zich wel eens aan de buitenzijde van de beglazing afspelen bij vochtige en windstille nachten. De geringe warmteverliezen van binnenuit de woning in combinatie met de sterke straling naar de open hemel zal er voor zorgen dat de condensatie zich hier eerst manifesteert in het midden van de beglazing. Het is tijdelijk vervelend, maar onschadelijk en juist een bewijs van de goede isolatiekwaliteit van het glas.

Raamkaders

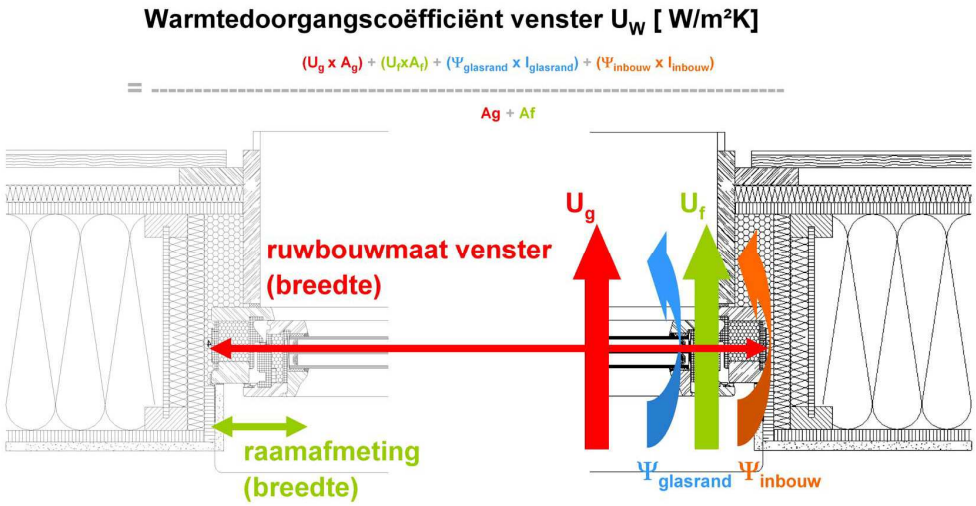
De isolatiekwaliteit van een venster hangt niet enkel af van het gekozen glas, maar ook van het type kader (figuur 39). Het raamkader beslaat, afhankelijk van de geometrie van het raam, ongeveer 30% van het hele raam.

Het gebruik van uitstekend isolerend glas garandeert dus niet dat er geen warmte verloren gaat via het geheel van het venster of dat er geen condensatie optreedt op het schrijnwerk. Het raamkader zelf, de wijze van bevestiging van het glas in het kader en de bevestiging van het kader in de wand is even belangrijk.



Figuur 39: Verschillende soorten passiefhuisschrijnwerk (Inoutic-Deceuninck, HDCV, PHP vzw)

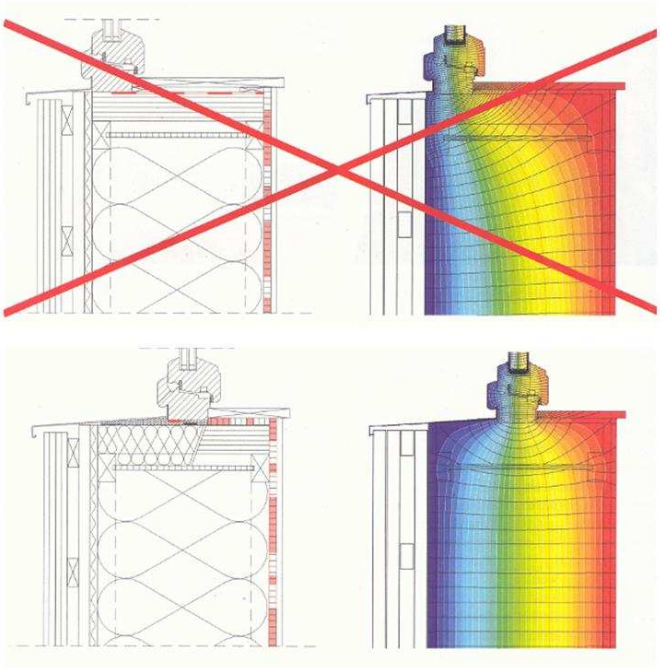
De U-waarde van het glas wordt gemeten in het centrum van de glasplaat, zodat de effecten van het raamkader en de rand niet in rekening gebracht worden. De werkelijke U-waarde van een venster kan bijgevolg sterk verschillen van de U-waarde van het glas. Deze U-waarde hangt af van volgende factoren: de U-waarde van het glas en van het raamkader, de afstandhouder in de glasrand, de inbouwdiepte van het glas in het kader en de geometrie van het raam (figuur 40).



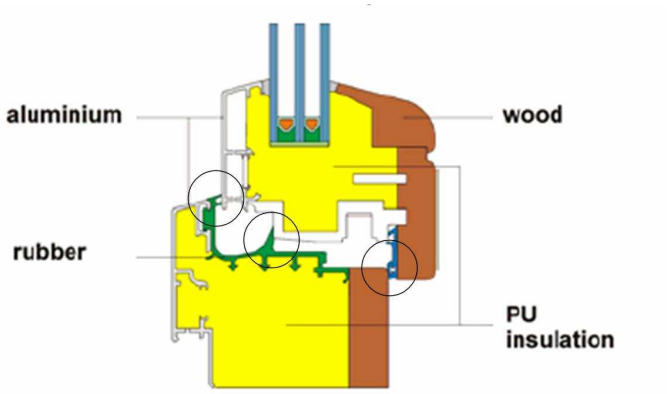
Figuur 40: Parameters voor de berekening van de U-waarde van het totale raam (PHP vzw)

Bij passiefhuisramen is de U-waarde van zowel glas als raamkader zo laag dat de andere factoren een belangrijke rol gaan spelen in de energieprestaties. Zo bestaan er verschillende afstandhouders (smalle profielen die de verschillende glasplaten op een vaste afstand houden), de een al beter isolerend dan de ander. Onvoldoende isolerende eigenschappen van deze afstandshouders kunnen, in combinatie met superisolerend glas en raamkaders, voor vochtproblemen zorgen. Door het grote verschil in isolatievermogen tussen het kader en de afstandhouder zal er een merkbaar koudere zone zijn, ter hoogte van deze afstandhouder. Op die plaats kan zich condensatie vormen. Toch worden er nog steeds veel aluminium afstandhouders gebruikt (160 W/mK), zelfs bij zogenaamd energiezuinig 1,1 W/m²K glas, terwijl aluminium één van de beste geleiders is. Roestvrij staal (17 W/mK) zou al een stuk beter zijn en thermisch onderbroken of kunststoffen afstandhouders zijn de beste keuze. De koudebrug die veroorzaakt wordt door de afstandshouder kan verminderd worden door het kader verder om het glas heen te laten lopen. Dit principe kan echter niet eindeloos toegepast worden omdat dan het aandeel van het raamkader steeds groter wordt.

De thermische isolatie moet ook doorlopen van het ene in het andere constructiedeel. Dat wil enerzijds zeggen dat de isolatiesnede in het raamkader en de thermische isolatie in de wand best in één vlak liggen (figuur 41) en anderzijds dat de thermische isolatie wordt doorgetrokken tot voor het raamkader. Het profiel wordt idealiter zo gepositioneerd dat de de isothermen zo symmetrisch mogelijk lopen (zie onderstaande figuur).



Figuur 41: Richtlijn voor de plaatsing van een raam in de as van de wand = symmetrische isothermen (Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)



Figuur 42: Drievoudige luchtdichting raamprofiel (PEP-brochure: Oplossingen voor passiefhuizen, 2006)

Aangezien luchtdichtheid in passiefhuizen van cruciaal belang is voor het interne comfort moeten ook de ramen luchtdicht ingebouwd worden.

Dat uit zich zowel in het materiaal als in de plaatsing. De raamkaders van opengaande ramen zijn voorzien van een driedubbele luchtdichting (figuur 42) en tijdens het plaatsen van het raam moet een luchtdichte aansluiting tussen wand en raam verzekerd worden

(figuur 43). Dat is een kritiek punt in de totale luchtdichting van het gebouw. Vooral het hang– en sluitwerk van het schrijnwerk vormt vaak een zwak punt in de luchtdichting van ramen. In het bijzonder dient ook gelet op de keuze van de buitendeuren. Deze bevatten meestal een onderregel, die de luchtdichte sluiting verzekert en een extra luchtdichting wanneer het slot wordt vergrendeld. Het sluitwerk zelf moet uiteraard ook luchtdicht en thermisch onderbroken zijn en zo bevestigd dat geen kritische punten in het luchtscherm worden doorboord.

Figuur 43: Luchtdicht inbouwen van ramen, 1. en 2. Passiefhuis Heusden-Destelbergen (denc!-studio bvba; Kris Baert); 3. Passiefhuis Heusden-Zolder (Equilibrium-team; PHP vzw)

Passiefhuisramen kunnen gemaakt worden uit verschillende materialen en materiaalsamenstellingen. Voor kunststof raamkaders is het essentieel dat de grote luchtkamers opgevuld worden met isolatiemateriaal (figuur 39 links). Houten ramen bestaan vaak uit een samenstelling van hout en isolatiemateriaal, waarbij dat laatste kurk, PUR, EPS of een ander materiaal kan zijn (figuur 39 rechts). Er bestaan ook massief houten ramen, die rekenen op de extra isolatiecapaciteit van enkele ingesloten luchtkamers (figuur 39 midden). De houten ramen kunnen om redenen als onderhoud en esthetiek voorzien worden van een gedeeltelijke of volledige aluminium buitenbekleding.

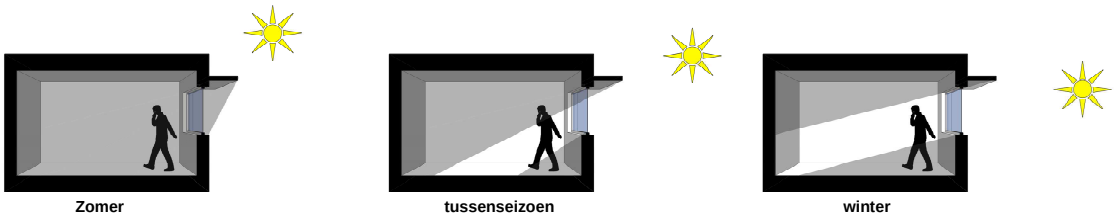
Voor passiefhuizen stelt Passiefhuis-Platform, in navolging van het Duitse Passivhaus Institut, strengere richtlijnen. Voor ramen komt dat neer op een U-waarde kleiner dan 0,8 W/m²K. Op dit moment wordt daartoe meestal gebruik gemaakt van drievoudige beglazing, voorzien van de nodige low-E coatings. Let wel, de 0,85 W/m²K heeft betrekking op het ingebouwde raam, dus inclusief eventuele lineaire warmteverliezen veroorzaakt door het raamkader of de manier van inbouwen. Momenteel nog niet verkrijgbaar, maar wel al in ontwikkeling, zijn onder meer beglazingen onder vacuüm of beglazingen met transparante isolatiematerialen in de spouw tussen de glasplaten.

Zonwering

Inleiding

Het feit dat goed gepositioneerde en gedimensioneerde ramen meer energie binnenbrengen dan er door transmissie verloren gaat, betekent geenszins een vrijgeleide voor ongebreidelde glasarchitectuur. Overmatige glasoppervlakte zonder afdoende bescherming tegen zonnestraling zal immers leiden tot oververhitting. Ook al zijn bij passiefhuisglas de zonnewinsten wat minder door de lagere g-waarde, de afkoelende afgifte naar de omgeving wordt eveneens kleiner door de betere thermische isolatie. Actieve koeling is energieverslindend en neemt de oorzaak van het probleem niet weg.

Om de zoninstraling te beperken wordt in passiefhuizen gebruik gemaakt van externe buitenzonwering. In tegenstelling tot zonwerende beglazing biedt buitenzonwering het voordeel dat in winter– en tussenseizoen nog volop van de gratis zonne-energie genoten kan worden (figuur 44).



Figuur 44: Invloed van zonwering voor zontoetreding (PHP vzw)

Zonwering tegen warmtewinsten is de meest uitgelezen en flexibele methode om oververhitting tegen te gaan. Bovendien kan het in alle klimaten, waar de invloed van de zon iets betekent, en op alle moderne gebouwen, ongeacht de omvang, toegepast worden. De sleutel voor een goede thermische prestatie en een efficiënte daglichttoetreding ligt in het ontwerp van de gebouwschil. Zonwering kan integraal deel uitmaken van de schil en dus die prestaties beïnvloeden. Ze kan zich aan de buiten– of binnenkant van de gevel bevinden, tussen de dubbele en drievoudige beglazing of in gordijnwand systemen.

Functie van zonwering

Door de opkomst van de airconditioning begin vorige eeuw, nam het gebruik van traditionele natuurlijke koeltechnieken af. Een tijdje werden ze zelfs helemaal genegeerd tot de energiecrisis van de jaren ‘70 een heropleving aanzette. Deze heropleving is slechts in de jaren ’90 doorgedrongen in commerciële gebouwen en moet nog altijd zijn originele reputatie herwinnen.

De traditionele functies van zonweringsystemen zijn het verbeteren van thermisch en visueel comfort door het vermijden van oververhitting en overbelichting, en eventueel het

zorgen voor privacy.

- Koeling

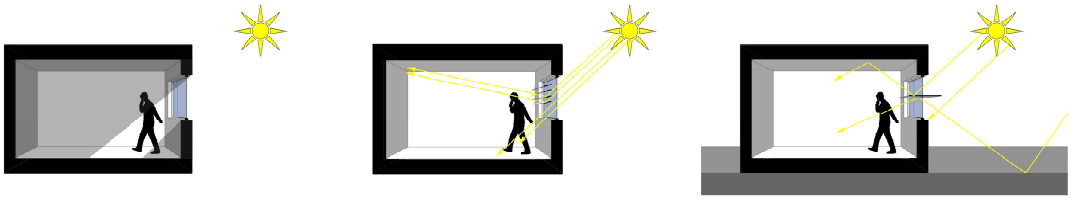
Zonweringsystemen vervullen een aantal functies. De meest duidelijke is de bescherming tegen directe zonnestralen en de daarbij resulterende ongewenste warmteopstapeling binnen in het gebouw. Deze bescherming wordt het best bereikt door zonwering te plaatsen aan ramen en andere openingen. Het afschermen van gevels en daken kunnen de ongewenste warmteopstapeling ook veelbetekenend verminderen, zeker wanneer deze elementen niet of slecht geïsoleerd zijn. Het beschermen van de gebouwenschil en de openingen vermindert de koelvraag: het potentieel van zonweringsystemen om de koellast van gebouwen te verminderen is bijzonder groot.

Afgezien van commerciële gebouwen die grote interne warmtewinsten ervaren van kantoormateriaal en gebruikers, vertegenwoordigt zonnestraling de grootste invloed op de koellast van gebouwen. De directe component is invloedrijker dan de diffuse en oefent haar meest onmiddellijke impact op de koellast uit wanneer ze ramen en andere openingen bereikt omdat ze direct overgedragen wordt naar het interieur. Wanneer de directe zonnestraling een voorspelbare richting heeft, kan ze efficiënt geweerd worden door externe zonwering. De diffuse en de gereflecteerde straling zijn door hun ruimere invalshoeken moeilijker te beheersen en zijn dus beter controleerbaar door middel van interne systemen of coatings tussen de beglazing. De efficiëntie van de meeste interne zonweringen is met betrekking tot het voorkomen van interne warmtewinsten echter beperkt. Vanaf het moment dat er straling is doorheen het glas, is opwarming een feit.

Directe zonnestraling op de gevel en hoge buitentemperaturen produceren warmtegeleidingstromen door de gevel en in het gebouw. De snelheid van de warmtegeleidingstroom wordt hoofdzakelijk bepaald door de eigenschappen van de thermische isolatie en de massa van de gevelelementen. Een gevel die door zonwering beschermd is, zal altijd onderhevig zijn aan de invloed van de buitentemperatuur en de diffuse en gereflecteerde zonnestraling, maar zal niet beïnvloed worden door de directe zonnestraling. Een beschermde wand zal dus minder warmte naar binnen geleiden dan een onbeschermde wand en zal hierdoor leiden tot een lagere koellast.

- Verlichting

Hoewel de globale verlichtingssterkte in een ruimte belangrijk is, is het de verspreiding van het licht in het visueel gebied die de kwaliteit van de verlichte omgeving bepaalt. Systemen die het daglicht kunnen weerkaatsen en verspreiden in een ruimte zijn dus erg nuttig. De systemen lopen uiteen van lichtrekken tot vooruitstrevende glazen systemen en omvatten blinden, reflecterende lamellen, externe vinnen en deklagen. Hun hoofdfunctie bestaat erin de uniformiteit van de lichtniveaus te verbeteren (figuur 45).



Figuur 45: Invloed van zonwering op de verlichting van ruimtes (PHP vzw)

De diverse systemen werken verschillend, maar hebben één doel gemeen: ze verbeteren de uniformiteit van het licht in de ruimte door het licht van het raamoppervlak te verspreiden naar de achterzijde van de ruimte. Potentiële felle lichtvlekken worden vermeden door het licht te weerkaatsen. Onderzoek heeft uitgewezen dat mensen minder geneigd zijn te verlichten wanneer licht gelijkmatig verspreid is over de ruimte, zelfs wanneer het lichtniveau lager is dan ideaal. Wanneer het menselijk oog zich moet aanpassen aan een hogere gradiënt van verlichtingssterkte, is de verleiding om het licht aan te steken groter. Zonweringsystemen die de dubbele rol kunnen vervullen van bescherming tegen zonnestraling en verspreiding van het beschikbaar daglicht hebben daarom het potentieel om de globale energieconsumptie op twee manieren te minimaliseren: in eerste instantie door het verminderen van de koellast en in tweede instantie het verminderen van het verbruik voor kunstmatige verlichting.

- Thermisch en visueel comfort

De relatie tussen zonlicht en menselijk comfort staat in verband met thermische en visuele vereisten. In de juiste omstandigheden kan zonlicht een bron van vreugde zijn, maar het kan ook thermisch en visueel ongemak voortbrengen. Direct zonlicht op de huid kan bij de gebruikers leiden tot een gevoel van verhitting en direct zonlicht op interne oppervlakken kan felle weerkaatsingen veroorzaken met oogirritatie tot gevolg.

Visueel comfort is normaal gezien de hoofdfactor om verlichtingsvereisten vast te leggen. Het is subjectief en wordt beïnvloed door leeftijd, de aard van de prestatie en de dagelijkse en seizoensgebonden weersveranderingen. Een voldoende verlichte omgeving wordt mogelijk wanneer voldaan is aan een aantal criteria.

Voldoende verlichtingssterkte is de eerste vereiste bij het ontwerpen van dagbelichting in gebouwen. Een correcte verspreiding van het licht is daarbij belangrijk voor het visueel comfort. Enkel goede oppervlakteverlichting is onvoldoende. Zoals hierboven beschreven, kan uniforme lichtdistributie de verminderde verlichtingssterkte compenseren. Meer informatie kan gevonden worden bij Groen Licht Vlaanderen vzw (via de website www.groenlichtvlaanderen.be).

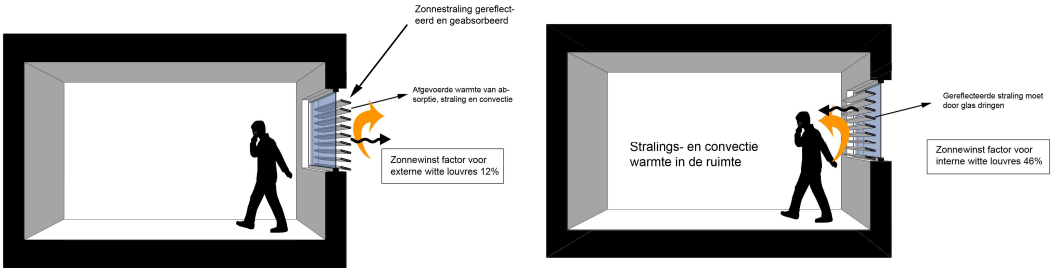
Wanneer het oog zich moet aanpassen van helder zonlicht naar een schemerig verlicht interieur ervaart het door de veranderende verlichtingssterkte tijdelijke blindheid. Dat is ook de reden voor het ongemak dat veroorzaakt wordt door felle weerkaatsingen. Studies

hebben aangetoond dat schitteringen afkomstig van zonlicht gemakkelijker verdragen worden dan van kunstmatige lichtbronnen. Toch dient felle weerkaatsing vermeden te worden.

De kleurweergave van kunstlicht zou zo dicht mogelijk moeten aanleunen bij dat van natuurlijk daglicht. Natuurlijk daglicht zorgt voor de best mogelijke kleurweergave.

Soorten zonweringen

Zoals hierboven al beschreven kunnen zonweringsystemen extern of intern (figuur 46), seizoensgebonden, vast of beweegbaar zijn en kunnen ze ook dienstdoen als dagbelichting– en isolatiesystemen. Sommige systemen kunnen meerdere rollen vervullen. Interne blinden kunnen, wanneer ze 's nachts gesloten zijn, fungeren als thermische barrière die warmteverlies naar buiten tegengaat. Behandeld glas en prismatische apparaten kunnen, zoals lamellen met weerspiegelende oppervlakken, zorgen voor zowel zonwering als verspreiding van licht.



Figuur 46: Externe versus interne zonwering (PHP vzw)

De keuze van de zonweringstrategie wordt bepaald door de ligging van de site en het gebouw, de oriëntatie, het type gebouw en het gebruik, de luchtcondities (de directe, diffuse en gereflecteerde componenten van zonnestraling) en andere lichtbronnen zoals indringende straatverlichting. De globale koelings–, verwarmings– en belichtingsstrategie die gebruikt wordt in de ontwerpfase beïnvloeden de keuze van het zonweringsysteem ook.

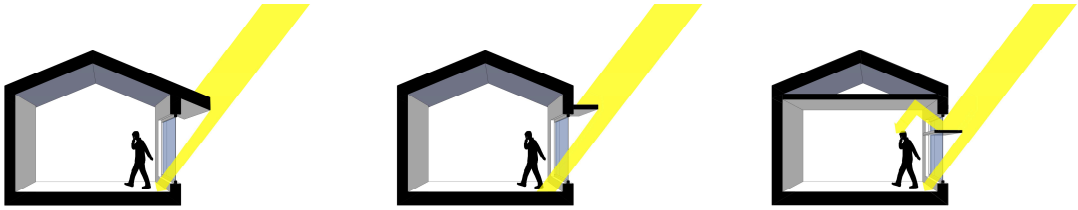
De hoeveelheid invallende zonnestraling wordt beïnvloed door de reflectie– en de absorptie-eigenschappen van de externe oppervlakken. De kleur en het materiaal van de zonweringelementen beïnvloeden hun efficiëntie.

Vaste systemen

Vaste systemen genieten vaak de voorkeur door hun eenvoud, stevigheid, lage onderhoudskost en meestal ook lagere constructiekost. Ze presteren goed in het weren van de hoge zomerzon terwijl ze de lage winterzon binnenlaten, maar kunnen de

daglichtbenutting bij betrokken hemel serieus aantasten.

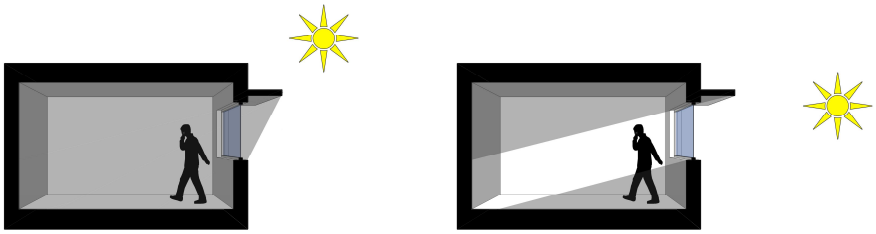
Vaste zonweringsystemen zijn meestal extern, goed zichtbaar en bieden belangrijke architecturale mogelijkheden. Ze verschijnen typisch in de vorm van horizontale luifels, dakoversteken, verticale vinnen of honingraatstructuren (gecombineerd horizontaal en verticaal) (figuur 47). Een diep ingebouwd raam is ook een type van vaste zonwering. Het is relatief eenvoudig en goedkoop, gedeeltelijk efficiënt bij het blokkeren van directe zonnestraling, maar minder efficiënt tegen diffuse en gereflecteerde straling.



Figuur 47: Vaste systemen (PHP vzw)

De horizontale luifel is de meest gangbare vorm van zonwering en is de meest eenvoudige om de hoge directe zonnestraling te controleren. In het noordelijk halfrond wordt deze zonwering voornamelijk op de zuidgevel toegepast. In lagere breedtegraden wordt ze meestal gebruikt voor oost- en westgevels. In warmere klimaten, zoals het mediterrane, bestaat de luifel vaak uit lamellen zodat lucht vrij langs de gevel kan stromen.

Bij het ontwerp van vaste zonweringsystemen is de oriëntatie van de opening de belangrijkste beslissende factor. De horizontale luifel kan mits een correct ontwerp en gebruik zorgen voor volledige zonwering van de zuidgevel gedurende de zomer terwijl ze de zon binnenlaat in de winter (figuur 48). Om de lage ochtend– en avondzon beter te controleren moet de luifel ver genoeg uitsteken aan beide kanten van de raamopening. De lengte van de luifel is afhankelijk van de breedte van de opening en de breedtegraad. De diepte wordt bepaald door de breedtegraad, de hoogte van het raam en de verticale afstand tussen het raam en de luifel.



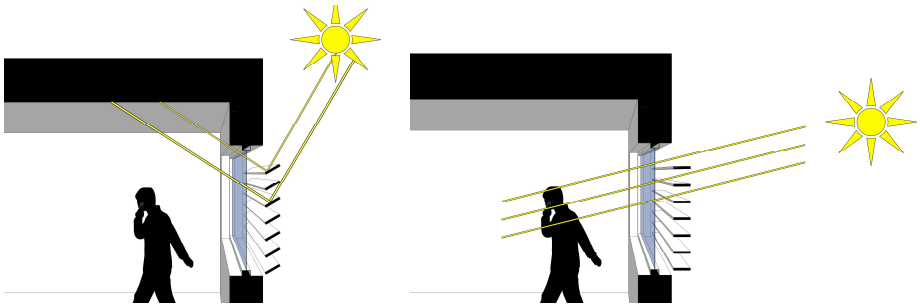
Figuur 48: Zomer- en winterzon (PHP vzw)

Vaste systemen zorgen niet altijd voor efficiënte bescherming tegen het lage zonlicht van ‘s ochtends en ’s avonds, in het bijzonder op de oost– en westgevels. Vaste verticale

vinnen kunnen een zekere bescherming bieden, maar hebben de neiging de interne lichtsterkte te verminderen.

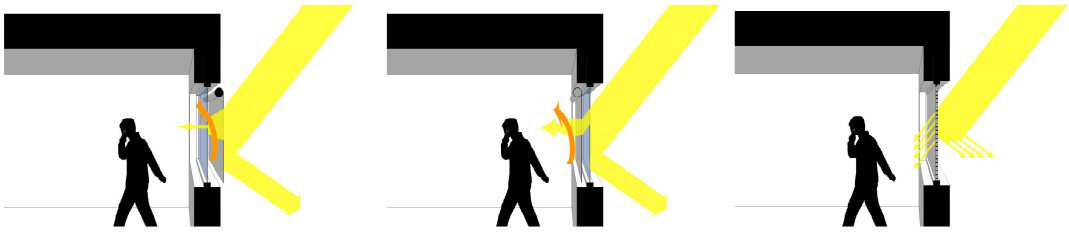
Regelbare systemen

Beweegbare zonwering systemen zijn flexibeler. Ze reageren beter op de beweging van de zon en laten een betere controle toe van de diffuse straling en felle lichtweerkaatsingen. Bovendien kunnen beweegbare of intrekbare systemen zo gemanipuleerd worden dat de daglichttoetreding in de winter niet gehinderd wordt (figuur 49). Een gepaste bediening van de beweegbare zonweringsystemen is noodzakelijk voor een optimaal effect.



Figuur 49: Hoge en lage zonnestand (PHP vzw)

Regelbare en beweegbare zonweringsystemen kunnen zich extern, intern of tussen de ruiten van een dubbele of drievoudige beglazing situeren (figuur 50). Regelbaarheid wordt het meest teruggevonden bij interne systemen omdat ze daar gemakkelijk te bedienen zijn en redelijk goedkoop. In sommige omstandigheden kan het echter ook bij externe systemen toegepast worden. Een extern regelbaar systeem kan gemanipuleerd worden om de zon te weren en toe te laten wanneer nodig en is redelijk efficiënt in het omspringen met laag binnenvallend direct zonlicht, diffuus en gereflecteerd licht. In tegenstelling tot vaste zonwering, kan het regelbaar systeem zo bediend worden dat de interne lichtsterkte niet overdreven gereduceerd wordt. Het kan aangepast worden voor gebruik in de meeste Europese klimaten. Het succes wordt dan ook afhankelijk van de stevigheid van de constructie en het gebruik. Wanneer het systeem geautomatiseerd wordt, kan het duur zijn.



Figuur 50: Interne zonwering, externe zonwering, tussenruit zonwering (PHP vzw)

De behoefte aan automatisering van regelbare externe zonwering hangt grotendeels af van het klimaat en de frequentie van de aanpassingen. Volledig geautomatiseerde, regelbare externe zonwering kan de warmtewinst door de ramen met 10% van de invallende straling op de gevel verminderen. De grootste zorg met betrekking tot regelbare externe zonwering is echter de duurzaamheid: ze vereist meer onderhoud en herstelling dan vaste of interne systemen.

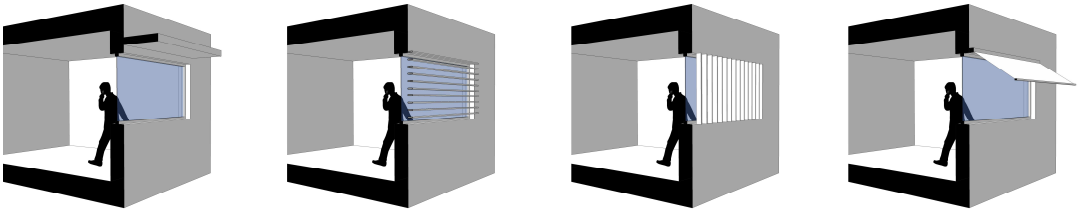
− Intrekbare systemen

Intrekbare zonweringsystemen kunnen naar het zij– of bovengedeelte van het raam ingetrokken worden of zelfs totaal weggenomen worden. Interne blinden en gordijnen vallen onder deze categorie, net als externe systemen zoals geweven schermen, lamellen en luiken. Deze systemen ontwijken het compromis tussen voldoende zonwering in de zomer en voldoende zontoetreding in de winter.

− Externe zonwering

Van de verschillende soorten zonweringsystemen zijn de externe systemen het meest efficiënt om zonnewinsten te verminderen omdat ze de meeste warmte van de zonnestraling onderbreken en teniet doen (grotendeels door convectie) nog voor ze het gebouwoppervlak bereiken. Ze leiden echter vaak tot een duurdere installatie en onderhoud en hebben een grotere impact op het esthetisch karakter van het gebouw.

Seizoensgebonden externe zonwering kan voorzien worden door het integreren van vegetatie in de vorm van loofbomen, ranken en struiken. Bij vaste externe zonwering kan een onderscheid gemaakt worden tussen horizontale luifels, verticale vinnen en permanente schermen of luiken. Beweegbare externe zonwering verwijst naar lamellen, blinden, scherm– en luiksystemen die aangepast kunnen worden aan verschillende weersomstandigheden en volledig intrekbaar en geautomatiseerd kunnen worden (figuur 51).



Figuur 51: Externe zonweringsystemen: oversteek, horizontale lamellen, verticale lamellen, zonneluifel (PHP vzw)

Beweegbare systemen zijn beter geschikt voor het Noordeuropese klimaat, maar moeten daarom wel stevig zijn en bestand tegen slechte weersomstandigheden. Het onderhoud kan moeilijk, duur en gevaarlijk zijn als het niet voldoende in rekening gebracht is tijdens de ontwerpfase. Aanpasbare en volledig intrekbare externe luiken of lamellen zijn efficiënt,

maar kunnen kostelijk zijn wanneer ze geautomatiseerd worden of gebruikt in commerciële toepassingen. Ze zijn heel efficiënt wat betreft het contoleren van direct, diffuus en gereflecteerd licht en dus erg geschikt om warmtewinsten en zontoetreding te regelen.

- Interne zonwering

Interne zonwering is bijna altijd regelbaar of intrekbaar en bestaat typisch in de vorm van een roller, lamellen of gordijnen. Interne systemen blokkeren het direct zonlicht pas nadat het door de beglazing gepasseerd is: eens de kortegolfstraling geabsorbeerd is, ontstaat er warmteopstapeling in de ruimte. Thermisch gezien zijn ze dus niet efficiënt en kunnen ze beter gezien worden als mechanismen die alleen daglichttoetreding en lichtweerkaatsing regelen. Daar waar zonwering nodig is om oververhitting te voorkomen, zijn ze bijgevolg weinig nuttig. Wanneer ze goed afgesteld zijn, kunnen lamellen diffuus licht binnenlaten terwijl ze direct zonlicht weren en kunnen ze werken als een belichtingsysteem door het licht te weerkaatsen naar het plafond. Normaal gezien worden ze echter bediend door de gebruikers met kans op een weinig efficiënt resultaat. Automatisering kan in grote kantoorgebouwen zijn kostenefficiëntie bewijzen.

- Zonwering in de spouw van de glasplaten

Dergelijke systemen kunnen zich situeren tussen de ruiten van een drievoudige beglazing of, in commerciële gebouwen, geïntegreerd in een gordijnwand. Zulke systemen combineren de voordelen van externe en interne zonwering. Warmtewinsten worden geweerd en het systeem zelf is beschermd tegen het buitenklimaat. Dergelijke systemen zijn gedeeltelijk efficiënt in het controleren van felle lichtweerkaatsing. Het zonweringsysteem is moeilijk toegankelijk voor onderhoud.

Andere systemen

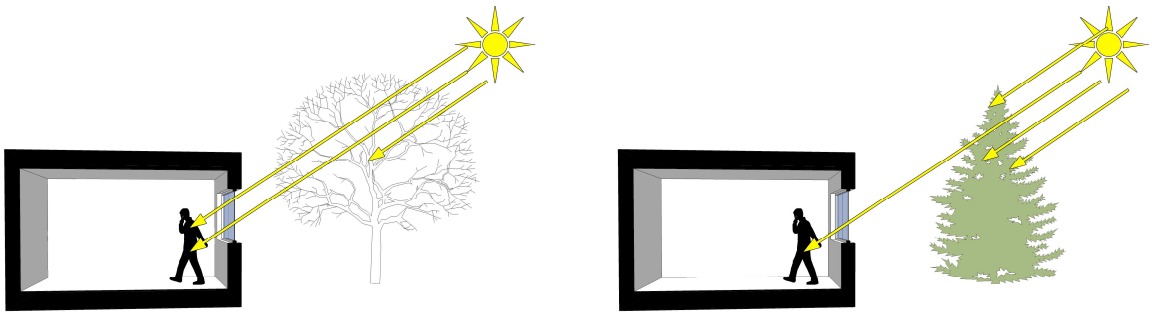
- Gecombineerde daglicht– en zonweringsystemen

Lichtplanken, prismatische beglazing en holografische lamellen zijn vooruitstrevende zonweringsystemen voor zover ze licht weerkaatsen en verspreiden en dus dienstdoen als dagbelichting– en zonwering. Ze verbeteren de lichtuniformiteit door licht tot dieper in de woning te weerkaatsen. Ze kunnen ook direct zonlicht controleren.

- Vegetatie

Het strategisch planten van bomen, struiken en ranken rond een gebouw en op constructies zoals pergola’s en uitkragende balken kunnen, samen met de stedelijke vorm, het microklimaat beïnvloeden. De nood aan interne en externe zonwering kan bij een correcte toepassing sterk verminderd worden. Selectieve beplanting kan niet alleen zorgen voor schaduw op ramen en andere openingen, maar ook op hele gevelvlakken en daken. Warmtewinsten door geleiding en straling kunnen hierdoor verminderd worden. Bijkomend kan men nog profiteren van een zekere opbrengst bij keuze voor fruitsoorten.

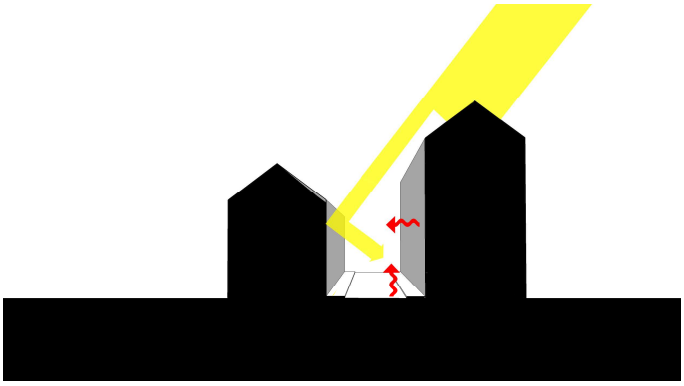
Door gebruik van seizoensbomen en –planten wordt voor zonwering gezorgd wanneer het nodig is (figuur 52). Evergreenvegetatie zorgt het hele jaar door voor zonwering. Vegetatie kan ook gebruikt worden om de reflectie op de grond en de omgevingstemperatuur (door damphuishouding) te verminderen. Evergreenstruiken en bodembedekkers zijn nuttig om reflectie van wegen, betegelde oppervlakken en gebouwen te voorkomen. Evergreens kunnen ook gebruikt worden als windscherm. Seizoensgebonden plantensoorten zijn veelal geschikt voor Europese klimaten.



Figuur 52: Zontoetreding in een gebouw in functie van de soort vegetatie (PHP vzw)

- Stedelijke morfologie

In regio's met een warm klimaat kent de gebouwde stedelijke omgeving vaak een compacte vorm. Straten zijn smal (figuur 53) en soms geheel of gedeeltelijk overdekt door schermen of luifels tijdens de zomer en beschaduwd door aanliggende gebouwen op kritieke momenten. Heuvelachtige grond wordt ook zo benut dat gebouwen elkaar beschaduwen. Het hoofddoel van zulke maatregelen is het voorzien in een comfortabel buiten– en binnenklimaat. Zulk ontwerp kan echter leiden tot gebrekkige ventilatie en daarom dient ventilatie, net als verlichting, samen met de zonwering overdacht te worden. In koudere klimaten wordt het stedelijk ontwerp meer beïnvloed door de verwarmingsnood in de wintermaanden.



Figuur 53: Schaduw door nabije gebouwen (PHP vzw)

Schaduw kan niet alleen gecreëerd worden door het optimaliseren van de breedte van de straat, maar ook door het integreren van binnenpleinen. Ze kunnen zo ontworpen worden dat ze in harmonie met de seizoenen zonlicht en schaduw geven.

Ontwerp van zonweringsystemen

De zon is de belangrijkste factor bij het ontwerpen van efficiënte koelstrategieën voor gebouwen. Correct ontworpen zonweringen kunnen de directe straling controleren en de straling door diffusie en reflectie gedeeltelijk blokkeren. Het ontwerp van zonwering dient de impact van de zonnestraling, de daglichttoetreding en de ventilatiebehoeften gelijktijdig in overweging te nemen. Het interne daglichtniveau mag niet in het gedrang komen zodat extra kunstmatige verlichting vereist is.

Bij het ontwerp van externe zonwering kan de beweging en de invloed van de zon voorspeld worden aan de hand van een aantal methodes. Laboratoria gebruiken typisch fysische modellen zoals de ‘heliodon’ en de ‘model-mounted sundial’, maar zulke methodes liggen ver buiten de mogelijkheden van veel ontwerpers.

Computersoftware is makkelijk beschikbaar en uiteenlopend in soort, complexiteit en prijs. 3D-programma’s die algoritmes bevatten van de beweging van de zon gedurende het jaar kunnen gebruikt worden om de impact van de schaduw door gebouwen te visualiseren en zonweringsystemen te ontwerpen.

In de PHPP-software kunnen diverse factoren ingevoerd worden die betrekking hebben op beschaduwing van de raamoppervlakken zoals vegetatie, naburige gebouwen en vooral ook zonwering. Aan de hand van het berekende oververhittingpercentage in de PHPP-software (zie hoofdstuk “PHPP als ontwerpinstrument”) kan nagegaan worden of de ingevoerde zonwering voldoende is of nog moet aangepast worden naar afmetingen of doorlaatbaarheid.

4.2 Klimatisatie

De klimatisatie van een passiefhuis kan sterk verschillen van een traditionele woning door de mogelijke afwezigheid van een conventioneel verwarmingssysteem. De passieve gebouwschil is immers gekenmerkt door de minimalisatie van de warmteverliezen terwijl de warmtewinsten zijn geoptimaliseerd. In dit hoofdstuk komen alle componenten aan bod die te maken hebben met de klimatisatie van een passiefhuis.

4.2.1 Comfort

Het comfort in een woning is afhankelijk van diverse factoren: de luchtsnelheid, de luchtvochtigheid, de luchttemperatuur, de oppervlaktetemperaturen, de activiteit die uitgeoefend wordt, de kledingsgraad,…

Binnenklimaat

Een goede luchtkwaliteit en voldoende verse lucht zijn basiseisen voor een gezond binnenklimaat. Om aan de algemene prestatie– en kwaliteitseisen voor binnenlucht te voldoen is het nodig de binnenomgeving voldoende goed te ventileren. Ventilatie zorgt voor voldoende luchtvolumewisselingen door een toevoer voor gebruikers en toestellen en verlaagt eveneens de kans op condensatie of schimmelvorming.

Zoals eerder vermeld zijn er in een woning een aantal schadelijke stoffen die bij te hoge concentraties tot allerlei gezondheidsproblemen kunnen leiden. Door de binnenlucht regelmatig te verversen, daalt de hoeveelheid schadelijke stoffen in de lucht. Bovendien wordt in een passieve woning, net zoals in gewone woningen, best geopteerd voor een emissievrije inrichting (vb. formaldehydevrije meubels, emissievrije verven,…).

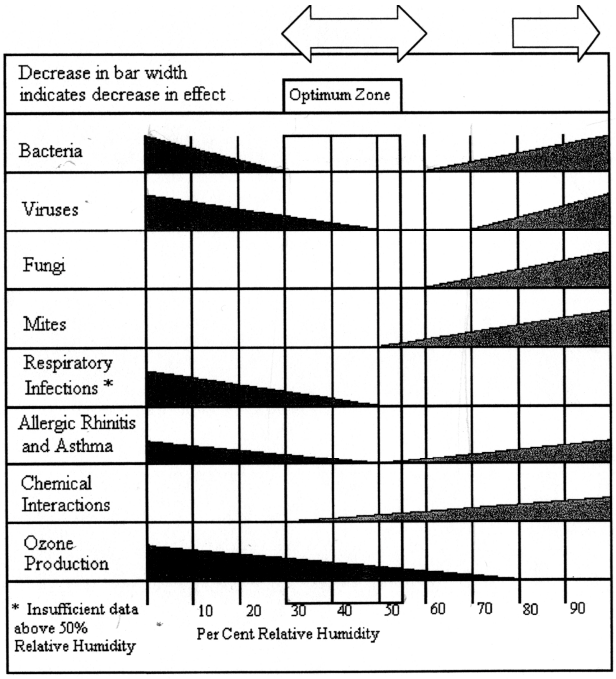
Maar een van de meest voor de hand liggende vervuilingen is de mens zelf. Onbewust zorgen we ervoor dat het CO_2-niveau in onze omgeving stijgt en het zuurstofgehalte in de lucht daalt. In de buitenlucht schommelt de CO_2-concentratie normaal tussen 300 en 500 ppm (parts per million). Binnen kan deze concentratie, hoofdzakelijk door onze ademhaling, sterk oplopen. Om gezondheidsklachten zoals hoofdpijn en concentratie-stoornissen te vermijden is het aangewezen dat de CO_2-concentratie 1400 ppm niet overstijgt. Indien een hogere comfortklasse gewenst is, streeft men best naar 1000 ppm. Regelmatige toevoer van verse buitenlucht is dus een absolute noodzaak om het CO_2-niveau binnen de perken te houden.

Luchtsnelheid

De luchtsnelheid heeft een grote invloed op het comfortgevoel in de woning. Het is heel belangrijk om het balansventilatiesysteem goed te dimensioneren, te installeren en in te regelen. De luchtkanalen en ventielen, die zorgen voor de luchtdistributie, dienen voldoende groot te zijn. Als het inblazen van de lucht in de ruimtes tegen te hoge snelheid gebeurt, krijgt men een onaangenaam tochtgevoel. Het juiste ventiel op de juiste plaats is dus van het allergrootste belang.

Luchtkwaliteit

Ventilatie is niet enkel nodig om vervuilende stoffen te verwijderen. Ook overtollig vocht wordt op deze manier afgevoerd. Per persoon wordt gemiddeld 3 liter vocht geproduceerd per dag, via ademhaling, transpireren, maar ook koken, wassen en dergelijke. Zonder ventilatie zou de relatieve vochtigheid binnen sterk verhogen, met een verhoogd risico op condensatie en schimmelvorming tot gevolg (figuur 54).



Figuur 54: Optimum zone relatieve vochtigheid (TU Eindhoven)

Bij een gezond gebouw wordt de relatieve luchtvochtigheid in binnenruimtes bepaald door: de interne vochtproductie, de temperatuur, het luchtverversingsdebiet en de luchtvochtigheid van de buitenlucht. Idealiter schommelt de relatieve vochtigheidsgraad tussen ca. 30 en 60%.

In een passiefhuis wordt de waterdamp afkomstig van de interne vochtbronnen constant met toegevoerde verse buitenlucht verdund. De relatieve vochtigheid binnen vermindert hierbij dus naarmate de hoeveelheid toegevoerde buitenlucht toeneemt (afhankelijk van de hoeveelheid lucht en de hoeveelheid vocht er in de buitenlucht aanwezig is).

Het verdunningseffect is bijzonder sterk in de winter aangezien koude buitenlucht zeer weinig waterdamp bevat. Bijgevolg verhoogt de kans dat bij een standaard ventilatiedebiet de luchtvochtigheid als te laag ervaren wordt. Een maatregel die dit kan verhelpen is de vermindering van de hoeveelheid aangevoerde buitenlucht, waardoor de relatieve vochtigheid binnen stijgt omdat de aanwezige waterdamp, afkomstig van interne vochtbronnen, weinig verdund wordt. Niemand hoeft ten behoeve van de luchtvochtigheid meer te verluchten dan nodig voor het eigen comfortgevoel, wel dient de hygiënische ventilatie te allen tijde gewaarborgd te blijven.

Samengevat kunnen bij een te lage interne luchtvochtigheid volgende maatregelen uitgevoerd worden:

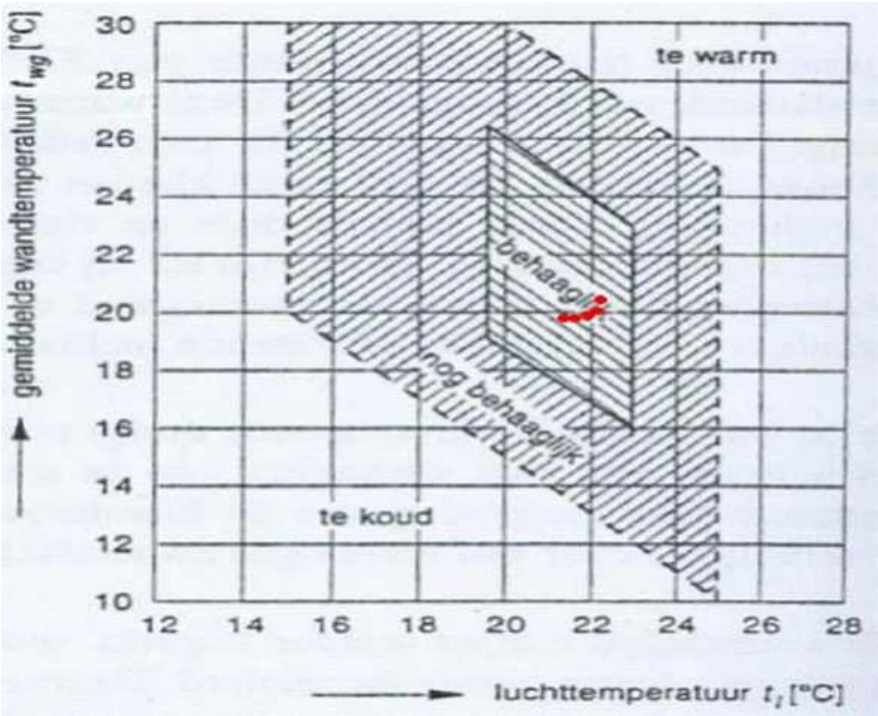
a) de hoeveelheid aangevoerde buitenlucht lager instellen op minimaal gewenste luchtkwaliteit waarbij de hygiënische ventilatie gewaarborgd blijft (CO_2-niveau)

b) eventueel bijkomende vochtbronnen (bijvoorbeeld planten) in de woonruimtes aanbrengen

De ondergrens voor de relatieve luchtvochtigheid, waaronder de meeste gebruikers de lucht als te droog ervaren, bedraagt 30%. Onder deze grens helpen enkel de uitvoering van punten a) en b) zoals hogerop beschreven.

Lucht–, wand– en oppervlaktetemperaturen

Door een sterk doorgedreven isolatie van de buitenschil en de goede luchtdichtheid zijn de warmteverliezen sterk gereduceerd waardoor de oppervlaktetemperaturen van de wanden niet veel lager liggen dan de luchttemperatuur in de woning. Onderstaande grafiek toont dat voor eenzelfde comfort een lagere inblaastemperatuur vereist is bij hogere wandtemperaturen.



Figuur 55: Lagere comforttemperatuur bij hogere wandtemperaturen (TU Eindhoven)

Om die reden is het belangrijk om schrijnwerk en beglazing te gebruiken dat voldoet aan de passiefhuisstandaard. Als dit niet gedaan wordt, zal de oppervlaktetemperatuur van de vensters veel lager liggen dan de luchttemperatuur en kan een onaangenaam koudegevoel ontstaan, waardoor er in de nabijheid toch een warmtebron geplaatst moet worden.

Andere comfortparameters

Er zijn nog andere factoren waar het comfort afhankelijk van is. Zo zal de soort activiteit ook een rol spelen. Indien men rustig een boek aan het lezen is, zal de warmtebehoefte groter zijn dan wanneer men aan het poetsen is. Ook de kledingsgraad heeft hier een invloed op, de warmtebehoefte zal dalen naarmate de kledingsgraad stijgt.

Verluchten < > Ventileren

Het is duidelijk dat om een comfortabel binnenklimaat te hebben, ventileren noodzakelijk is. Er zijn twee belangrijke opmerkingen te maken in verband met ventileren. Enerzijds moet luchtdicht gebouwd worden, anderzijds moet een onderscheid gemaakt worden

tussen ventileren en verluchten.

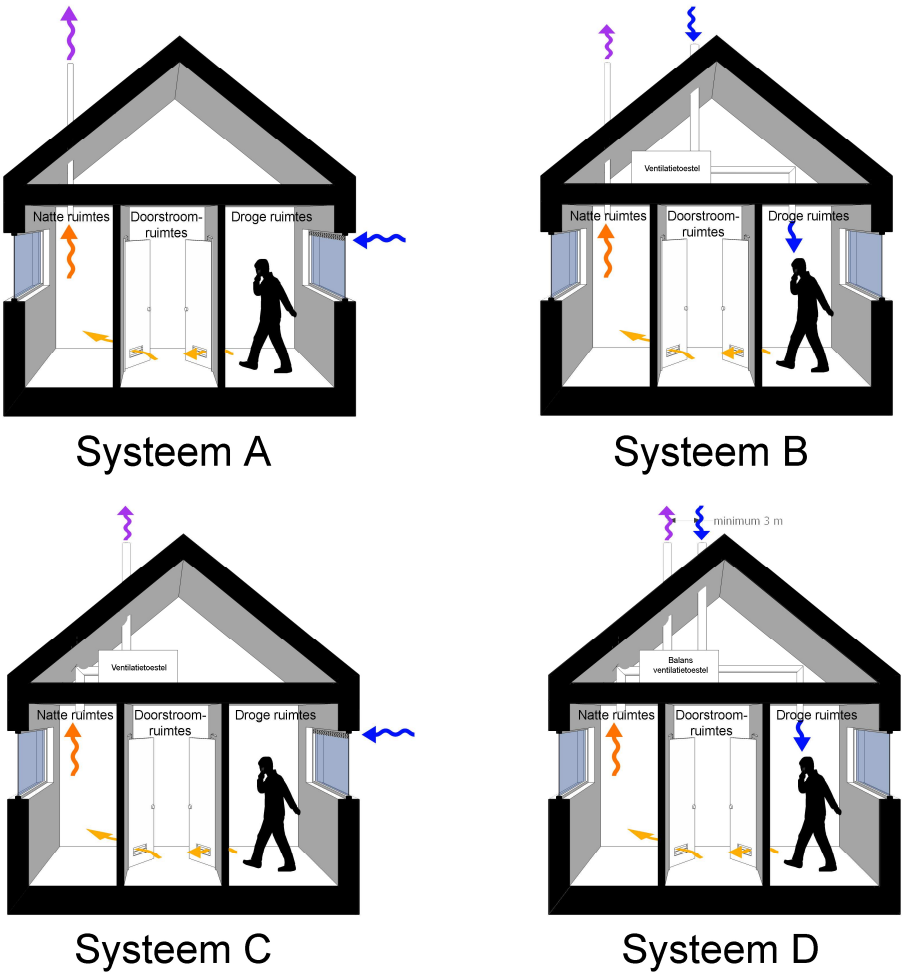
Vele (eerder oudere) woningen worden enkel geventileerd door toevallige luchtinfiltratie door kieren en spleten in het gebouw of er wordt tijdelijk verlucht door het openen van de ramen. In deze weinig luchtdichte woningen is de ventilatie meestal onvoldoende en wordt niet continu of niet op het juiste moment geventileerd. Denk maar aan slaapkamers die overdag gelucht worden door het openen van de ramen, terwijl de vervuiling 's nachts gebeurt, als de ramen gesloten zijn. Hetzelfde met een wc-raampje dat openstaat. Koude buitenlucht die langs het raampje binnenkomt warmt op, stijgt en verlaat de woning via lekken in de zolder. Op die manier wordt de lucht uit het toilet door de hele woning verspreid. Bovendien is een ruimte gedurende korte tijd verluchten niet hetzelfde als ventileren. Wanneer de lucht in een ruimte voldoende ververst dient te worden, moet continue luchtcirculatie gecreëerd worden. Verluchten is dus zowel qua luchtkwaliteit als qua comfort ontoereikend en dan laten we nog even het energieaspect buiten beschouwing.

Een goede ventilatie hangt samen met een luchtdichte afwerking van de gebouwschil om ongecontroleerde en ongewenste lekken te vermijden. Anderzijds moet de ventilatie gecontroleerd gebeuren, door het nodige debiet goed te berekenen, de aan– en afvoer-openingen goed te dimensioneren en te plaatsen, een vaste richting van de ventilatiestroom te verzekeren en dit alles bij een goede energiebalans.

Maar zelfs een perfect berekend en geïnstalleerd ventilatiesysteem kan niet garanderen dat het gebouw ook correct geventileerd wordt. Veel hangt af van de gebruiker van het gebouw, die de installatie ook correct moet bedienen en onderhouden.

Voor ventilatie heeft de EPB-wetgeving terzake het enkel over minimale ventilatie-voorzieningen bij woningen om zo tot een goed binnenklimaat te komen. Er zijn 4 systemen voor de ventilatie (NBN D50) (figuur 56):

- Systeem A: natuurlijke aan– en afvoer;
- Systeem B: mechanische aanvoer en natuurlijke afvoer;
- Systeem C: natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer;
- Systeem D: mechanische aan– en afvoer.

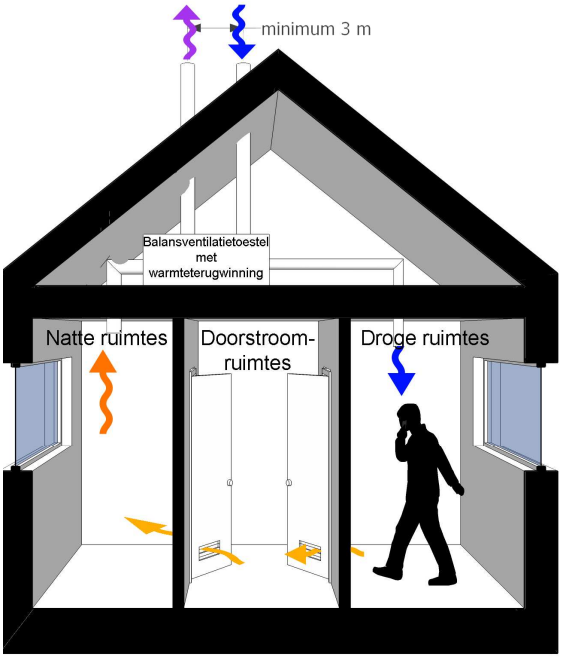


Figuur 56: Ventilatiesystemen (PHP vzw)

Aangezien men enkel met systeem D met warmterecuperatie op een comfortabele en gegarandeerde wijze aan luchtverversing kan doen, wordt enkel dit systeem toegepast in het passiefhuisconcept. In systeem D gebeurt zowel de toevoer als de afvoer mechanisch, maar het energieverbruik van de ventilatoren is maar een fractie in vergelijking met de energie die nodig is om lucht op te warmen. Zo werd bij het eerste demonstratiegebouw in Darmstadt-Kranichstein een hoogrendement tegenstroom lucht-luchtwarmtewisselaar geplaatst. Het jaarlijkse stroomverbruik voor ventilatie ligt tussen 200 en 400 kWh per woning. De teruggewonnen warmte ligt daarentegen tussen de 3000 en 4000 kWh per jaar, dit betekent een winstfactor 6 (omgerekend naar primair energieverbruik). Deze hoge stroomefficiëntie werd bereikt door het gebruik van elektronische gecommitteerde gelijkstroommotoren en een installatie met lage drukverliezen.

De manier van ventileren blijft bij elk type gebouw gelijk. Alle normale woonruimten worden voorzien van basisventilatie (figuur 57). Deze woonruimten worden onderverdeeld in droge ruimten (living, slaapkamers, studeer–, speel– en hobbyruimten), vochtige ruimten (keuken, badkamer, toilet en wasplaats) en doorstroomruimten binnen dezelfde woon-eenheid (gang, hal en trap).

Voor de basisventilatie dient de toevoer te gebeuren via de droge ruimten en de afvoer vanuit de vochtige ruimten. Op die manier wordt vermeden dat onaangename luchtjes uit de keuken of het toilet verspreid worden door het hele huis. De doorstroomruimten werken dan als doorvoerzone. Het drukverschil tussen afvoer– en toevoervoorzieningen zorgt voor een luchtstroom in de gewenste richting. De nodige openingen en/of roosters zorgen voor een goede doorgang van de ventilatielucht. Ruimten waar geen of onvoldoende luchtverversing te verwachten valt dienen best ook voorzien te worden van een extra pulsie- of extractieventiel om muffe geurtjes te vermijden. Een voorbeeld van een vaak vergeten plek is een dressing. Daar verkiest men best een extra extractieventiel met ingebouwde stoffilter boven een pulsieventiel om geen extra stof te verspreiden.

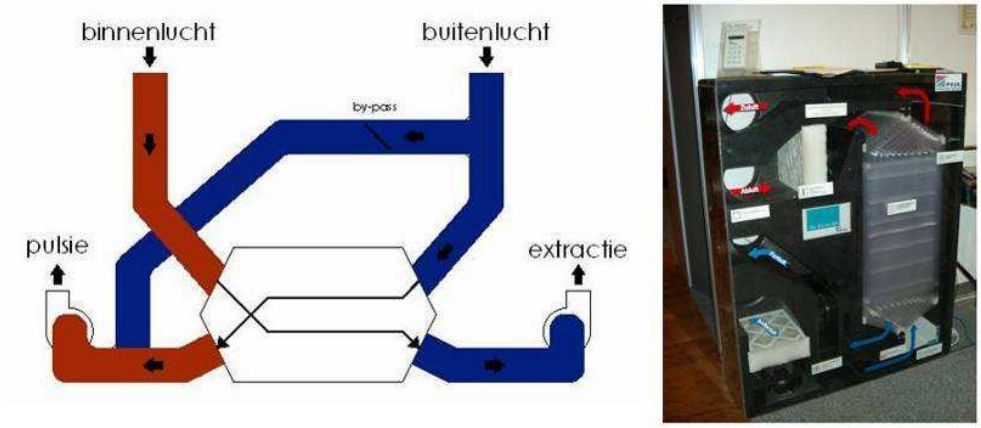


Figuur 57: Gecontroleerde ventilatie (PHP vzw)

4.2.2 Balansventilatie met hoogrendement warmteterugwinning

In een passiefhuis wordt een balansventilatie met warmteterugwinning toegepast (figuur 58). Dit wil zeggen dat er evenveel lucht wordt toegevoerd als afgevoerd. Er is dus een balans tussen beide luchtdebieten, zodat er geen kunstmatige over– of onderdruk ontstaat tussen de binnen– en buitenomgeving. Een balansventilatie kan nooit optimaal functioneren als het systeem niet in balans is. Hierbij is naast de luchtdichtheid van de gebouwschil ook de luchtdichtheid van de kanalen onontbeerlijk. Enkel met luchtdichte leidingen kan men de juiste hoeveelheid lucht op de juiste plaats brengen en is de balansventilatie volledig controleerbaar. Het wordt aanbevolen dat het toestel minimaal in vier verschillende regimes kan functioneren: volledig uit 0%, basisventilatie 70-80%, standaardverluchting 100% en maximale verluchting 130% van de berekende ventilatiebehoefte.

Om zoveel mogelijk energie te besparen zal in het stookseizoen de vervuilde extractieventilatielucht via een warmtewisselaar zijn warmte overdragen op de verse pulsieventilatielucht. Bij hoogrendement warmtewisselaars kan in ideale omstandigheden tot meer dan 90% van de warmte overdragen worden.



Figuur 58: 1. Voorstelling balansventilatie met warmterecuperatie en by-pass (PHP vzw); 2. Balansventilatietoestel (PHP vzw)

Een volledig balansventilatiesysteem bestaat uit vele verschillende onderdelen waarbij bij elk van de componenten een aantal aandachtspunten zijn. De onderdelen worden in de volgende paragrafen besproken.

Aanzuig– en afvoeropening

De aanzuigopening (figuur 59) is de plaats waar de verse ventilatielucht aangezogen wordt en de afvoeropening is de plaats waar de vervuilde binnenlucht afgeblazen wordt. De keuze van de locatie van deze openingen is erg belangrijk. Zo moet de aanzuigopening zo ver mogelijk verwijderd zijn van externe vervuilingsbronnen zoals eventuele schoorsteenuitlaten, verbrandingsgasafvoeren, dampkapuitlaten en ventilatieafvoer-openingen. Bij voorkeur wordt de aanzuigopening gepland aan een zijde van het gebouw waar minder vervuilde lucht wordt opgevangen, zoals de tuinzijde in plaats van de zijde waar vervuilend verkeer circuleert.

Bovendien moeten de aanzuig– en afvoeropeningen op minimaal 3 meter ver van elkaar geplaatst worden zodat men geen contaminatie krijgt tussen beide luchtstromen. Indien geen gebruik gemaakt wordt van een grondbuis, kunnen de aanzuig– en afvoeropening best in hetzelfde vlak gepositioneerd worden om natuurlijke drukverschillen tussen beide openingen te vermijden. Verder dienen ze regendicht te zijn en insectenwerend. Omwille van straatlawaai is het ook beter van deze niet aan de straatzijde te monteren, maar te opteren voor een eerder rustige plek.

TIP: Wanneer men de aanzuigopening in de nabijheid van een welruikende plantencombinatie positioneert, kunnen de bewoners werkelijk de natuur(geur) in huis halen.

De dimensionering van de openingen gebeurt best voldoende groot om de drukverliezen en het hiermee gepaard gaande extra energieverbruik te beperken. Het aanzuigen van verse ventilatielucht onder de pannen is mogelijk, het afvoeren van ventilatielucht moet boven de pannen gebeuren om voortdurende condensatieafvoer via het onderdak te vermijden.

Figuur 59: Aanzuigopening voorzien van een filter (HDCV)

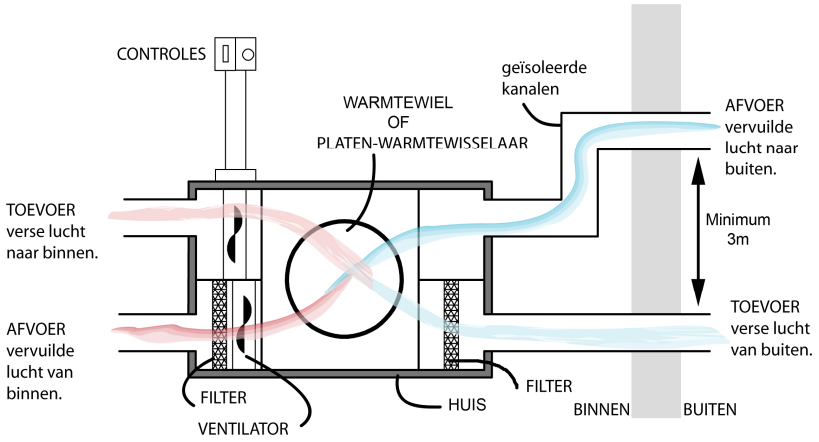
Kanalen tussen afvoer– en aanzuigopening enerzijds en het balansventilatietoestel anderzijds

Deze kanalen dienen kort gehouden te worden omwille van druk– en transmissie-warmteverliezen. Indien het toestel zich binnen het beschermd volume bevindt, worden deze korte leidingen goed geïsoleerd om een plaatselijke koudebrug te vermijden (figuur 60). Dit isolatiemateriaal dient ofwel een gesloten celstructuur te hebben ofwel dient het voorzien te zijn van een dampdichte folie (vb. aluminium,…) aan de buitenzijde in geval van een dampdoorlatend isolatiemateriaal. Zo wordt condensatie op de buitenzijde van het ventilatiekanaal voorkomen, waardoor de isolatie nat zou worden en haar isolerende werking zou verliezen. De kanalen worden luchtdicht verbonden van toestel tot buitenomgeving om ook hier ongecontroleerde in– en/of exfiltratie te vermijden.

Figuur 60: Isolatie van ventilatiebuizen (PHP vzw)

Het balansventilatietoestel met warmteterugwin-unit

Dit toestel bestaat meestal uit 2 ventilatoren, 1 warmteterugwin-unit en meestal 2 filters (figuur 61).



Figuur 61: Schematische voorstelling van een balansventilatietoestel met warmteterugwin-unit (PHP vzw)

De afzuig– of extractieventilator zorgt ervoor dat vervuilde en vochtige lucht wordt afgevoerd uit de vochtige ruimtes (WC, keuken, badkamer, wasplaats,…). Verse lucht wordt door de toevoer– of pulsieventilator ingeblazen in de leefruimten (woonkamer, slaapkamers, zithoek,…). Beide luchtdebieten dienen in balans te zijn om drukverschillen tussen het beschermde binnenvolume en de buitenomgeving te vermijden, vandaar de term ‘balansventilatie’.

Ook bij een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning speelt het energieverbruik een niet te onderschatten rol. Men kiest daarom voor een toestel met energiezuinige ventilatoren, waarbij het streefdoel 0,45 W/ (m^3/h) verplaatste lucht bedraagt in zijn werkingspunt. Deze maximale streefwaarde omvat zowel het verbruik van beide ventilatoren alsook de electronica voor de sturing.

Bij de keuze van het balansventilatietoestel wordt een toestel aanbevolen dat voorzien is van filters. Dit om enerzijds steeds propere lucht in de woning in te blazen en anderzijds om de kanalen en het balansventilatiesysteem niet te vervuilen. Op het aanzuigkanaal wordt een fijnfilter voorzien, waarvan de filterklasse minimaal F7 bedraagt. De fijnfilter dient voldoende groot te zijn (bij voorkeur een zakkenfilter (figuur 62)) zodat deze niet te snel verzadigd geraakt en vervangen moet worden. Het tijdig vervangen van vervuilde filters is niet alleen noodzakelijk voor het behoud van een goede luchtkwaliteit, maar is eveneens belangrijk voor het onder controle houden van de drukval en dus het beperken van het energieverbruik van de ventilatoren. Als voorbeeld geven we u mee dat een vervuilde F7-fijnfilter al een drukval veroorzaakt van 50 Pa daar waar een propere F7-fijnfilter slechts 20 Pa veroorzaakt. Ook op de afgevoerde lucht wordt het aanbevolen een filter te voorzien. Dit is een groffilter met een minimale filterklasse G4. Die wordt geplaatst vooraleer de afgevoerde lucht door de warmtewisselaar gaat, op die manier wordt vermeden dat het toestel vervuild wordt. In de keuken is het aangewezen om een extractieventiel te voorzien met uitwasbare RVS vetfilter, die maandelijks dient gereinigd te worden. Andere stoffige extractieruimtes zoals dressings, kunnen best voorzien worden

van een stoffilter om op die manier ook de kanalen van het ventilatiesysteem langer zuiver te houden.

Figuur 62: Aanzuig zakkenfilter (PHP vzw)

De vochtige, vervuilde lucht die men afvoert bevat nog heel wat energie onder de vorm van warmte. Deze kan men overdragen op de verse inkomende buitenlucht via een warmtewisselaar. Deze warmtewisselaars bestaan in meerdere uitvoeringen en afmetingen zoals platenwarmtewisselaar, roterend warmtewiel,… Hoe groter het contactoppervlak, des te beter de warmteoverdracht zal verlopen, maar ook de prijs van het toestel zal stijgen. Het rendement van de warmteoverdracht is niet enkel afhankelijk van de grootte van het contactoppervlak maar ook van de vochtigheidsgraad van de lucht, het initiële temperatuursverschil tussen beide luchtstromen, de luchtsnelheden (tijd van uitwisseling: een langzamer bewegende luchtstroom langsheen het contactoppervlak heeft meer tijd om zijn warmte over te dragen dan een sneller bewegende luchtstroom), enz.

Er bestaan veel verschillende types toestellen op de markt. We kunnen volgende indeling maken voor de lucht-lucht warmteterugwinapparaten:

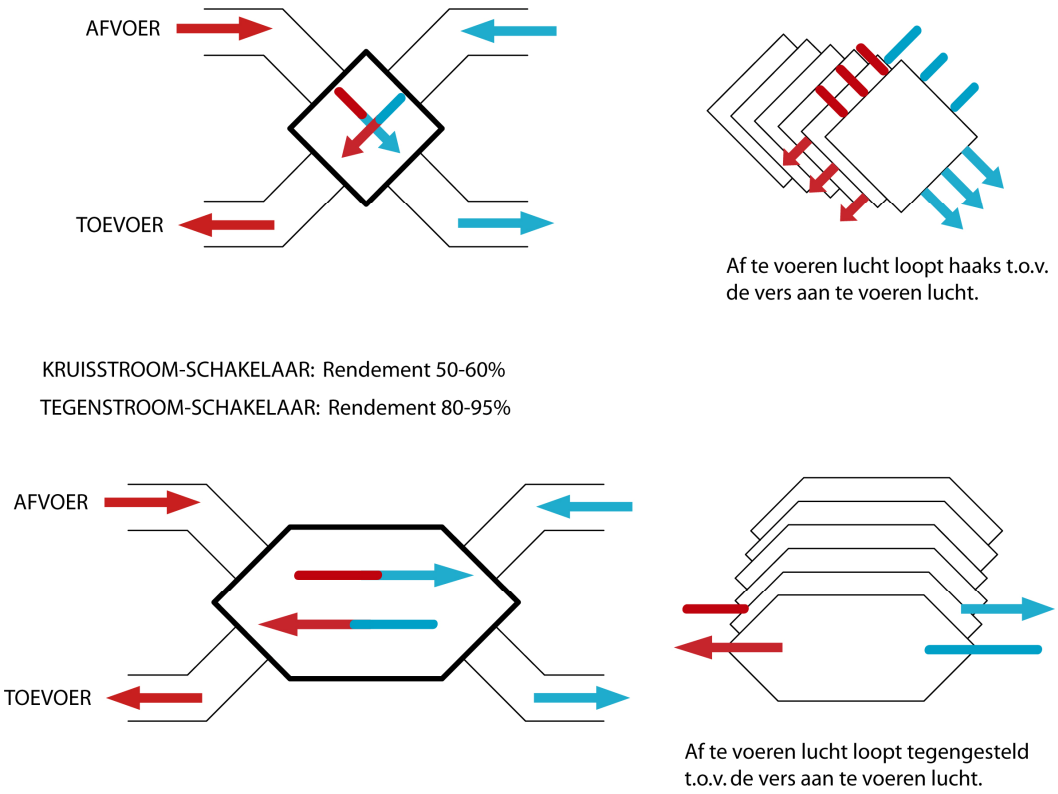
- Recuperatie (kruisstroom- of tegenstroomwarmtewisselaar)
  - Zonder intermediair medium (platen of buizen warmtewisselaar)
  - Met intermediair medium
    - Intermediair medium zonder toestandsverandering (glycolcirculatie)
    - Intermediair medium met toestandsverandering (heat pipe)

- Regeneratie (hygroscopisch of niet hygroscopisch)
  - Warmtewiel
  - Statische regenerator

De meest verkochte toestellen in de woningbouwprojecten zijn balansventilatietoestellen met

- tegenstroomwarmtewisselaar;
- kruisstroomwarmtewisselaar;
- warmtewiel

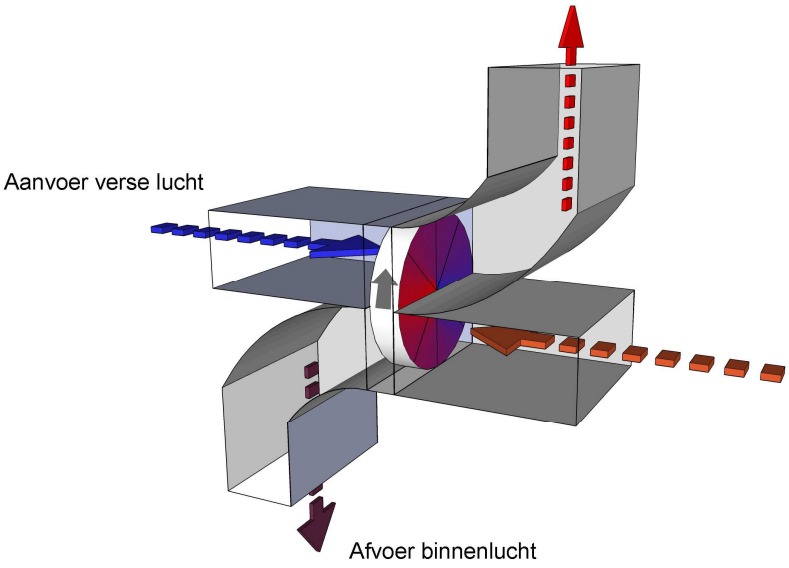
Zowel de kruisstroom– als tegenstroomwarmtewisselaar zijn beide platenwarmtewisselaars (figuur 63). Waar in een kruisstroomwarmtewisselaar de inkomende en uitgaande luchtstromen elkaar 90° kruisen, lopen ze bij een tegenstroomwarmtewisselaar voor een deel parallel in tegenstroom richting. De meeste tegenstroomwarmtewisselaars zijn eigenlijk een uitgetrokken kruisstroomwarmtewisselaar. Deze heeft bij eenzelfde aantal platen dan ook een grotere warmteoverdrachtsoppervlakte en dus ook een hoger rendement. Daarom geniet een tegenstroomwarmtewisselaar de voorkeur op de kruisstroomversie en is het de minimum voor laagenergie– de passiefhuismarkt.



Figuur 63: Schematische voorstelling kruisstroom- en tegenstroomwarmtewisselaar (PHP vzw)

Naast de platenwarmtewisselaars komt het roterend warmtewiel vaak voor in Scandinavische woningbouw. Minder voorkomend in de woningbouw zijn volgende types warmterecuperatoren: glycolbatterijen, heat pipe, statische regenerator.

Een warmtewiel (figuur 64) is een roterende massa die doorheen twee gescheiden luchtstromen roteert. In onderstaande figuur ziet u dat het wiel bovenaan doorheen de warme afvoerlucht draait en daar dus de warmte kan opnemen. Nadat het wiel is opgewarmd in de bovenste sectie komt het vervolgens in de onderste sectie waar het zijn opgenomen warmte weer zal afgeven aan de verse koude luchtstroom. Bijkomend voordeel van dit type is dat er op een eenvoudige manier ook vocht kan worden overgedragen tussen beide luchtstromen, waardoor te droge lucht tijdens koude winterdagen minder snel voorkomt. Bij een platenwarmtewisselaar is dit enkel mogelijk indien men gebruik maakt van semi-permeabele platen die weliswaar luchtdicht maar toch dampdoorlatend zijn. Zowel de platenwarmtewisselaars als het warmtewiel kunnen ook “koude” terugwinnen in de zomerperiode. De koudere binnenlucht zal dan de warmere buitenlucht afkoelen alvorens deze in de leefruimtes wordt ingeblazen.



Figuur 64: Schematische voorstelling warmtewiel (PHP vzw)

Indien men in de zomer de woning toch nog verder wenst te koelen via lichte nachtventilatie, dan moet men de warmterecuperatie kunnen uitschakelen. (We spreken hier over lichte nachtventilatie aangezien hoge debieten van ca. vier luchtvolumewisselingen per uur (= intensieve nachtventilatie) uitgesloten zijn in een bewoond huis) In het geval van het warmtewiel kan de bypass eenvoudig ingeschakeld worden door de roterende beweging van het wiel stil te leggen. Bij de platenwarmtewisselaars moet men er speciale aandacht op vestigen of er een bypass in het toestel is geïntegreerd. Deze wordt ook dikwijls als afzonderlijke optie aangeboden. Men dient tevens na te gaan of de bypass-werking volledig wordt geblokkeerd of gedeeltelijk zal zijn. Indien de luchtstroom doorheen de platenwarmtewisselaar niet volledig wordt geblokkeerd, zal er dus nog steeds een gedeelte doorheen de platenwarmtewisselaar blijven stromen en zal er toch nog, in dat geval, ongewenste warmterecuperatie zijn. Dit is het geval indien het kanaal langs de warmteterugwinning niet volledig werd afgesloten. Dit probleem stelt zich dan niet bij toestellen met warmtewiel waar men dan weer meer aandacht dient te schenken aan de dichting tussen de stilstaande en roterende delen die onderhevig zijn aan slijtage. Bij nalatigheid zal er een snelle toename zijn van de kortsluitluchtstroom tussen toe– en afvoerlucht.

Belangrijk bij de keuze van een balansventilatietoestel is het rendement van de warmtewisselaar. De door de fabrikanten opgegeven rendementen zijn zelden tot nooit zonder meer onmiddellijk vergelijkbaar. U kan de rendementen slechts vergelijken indien ze volgens dezelfde testwijze bepaald zijn (bijvoorbeeld PHI, of EN308, …) en u dient ze te kennen in het steeds specifieke werkingspunt van de totale installatie. Hiervoor dient men zowel de ventilator- als de leidingkarakteristiek uit te zetten.

Warmteterugwinsystemen met een hoog rendement kunnen in de winter bij strenge vorst te maken krijgen met een ander probleem, namelijk beschadiging door bevroren condensatievocht. De grote temperatuurverschillen tussen de afgevoerde vochtige lucht en de aangevoerde koude ventilatielucht zijn de oorzaak hiervan. Er zijn verschillende oplossingen voor dit probleem, maar niet elke oplossing is toepasbaar in een passiefhuis. Als eerste kan men een elektrische voorverwarmingsweerstand plaatsen die de koude inkomende ventilatielucht tot een positieve temperatuur brengt. Een andere oplossing bestaat erin om het toerental van de toevoerventilator te verlagen, maar deze oplossing brengt de woning in onderdruk waardoor koude buitenlucht zal infiltreren en is dus uit den boze voor de luchtdichte passiefhuizen. De betere oplossing is het gebruik van een grondbuis of aardwarmtewisselaar zodat op een passieve manier de aangevoerde koude ventilatielucht al een geringe voorverwarming krijgt en er aan de ingang van het balansventilatietoestel positieve temperaturen gemeten worden. Dit systeem biedt naast deze voorverwarming ook passieve koeling in de zomer, waar later op teruggekomen wordt.

Kanalen van luchtdistributie

Algemeen kan gesteld worden dat korte kanalen met een grote sectie de beste keuze zijn (figuur 65). Ze zorgen voor minimale drukverliezen, zodat het energieverbruik van de ventilatoren beperkt blijft. Ronde, gladde kanalen genieten een lichte voorkeur aangezien deze onderhoudsvriendelijker zijn, minder drukverlies en minder geluid veroorzaken en beter luchtdicht te maken zijn ten opzichte van rechthoekige kanalen.

De plaatsing van geluidsdempers op beide luchtstromen is een onmisbare schakel voor een kwalitatieve installatie. Sommige mensen denken onterecht dat dit enkel noodzakelijk is op de inblaaszijde. Ook de afzuigzijde dient men van een demper te voorzien, aangezien geluid zich in alle richtingen vele malen sneller voortplant dan de luchtsnelheid.

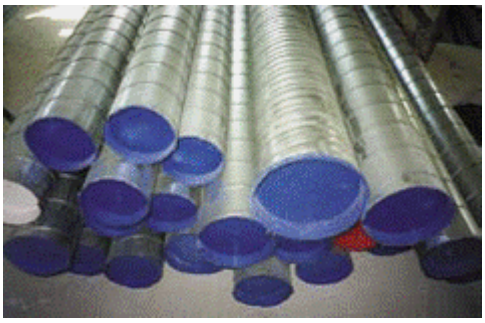
De kanalen of de delen van de kanalen die zich niet binnen het geklimatiseerde volume bevinden, dienen uiteraard goed geïsoleerd te worden om condensatie op de binnenzijde van de kanalen en het daarmee gepaard gaande energieverlies te voorkomen.

De kanalen dienen luchtdicht verbonden te zijn tot op de pulsie– en extractiemonden. Enkel op deze manier kan men verzekeren dat de juiste luchtdebieten op de juiste plaats terecht komen. De luchtsnelheid in de kanalen mag niet te groot (maximaal 3m/s) zijn om geluidshinder van de balansventilatie te vermijden.

Figuur 65: Ventilatiebuizen in het passiefhuis Wijtschate (denc!-studio bvba (PHP vzw)

Bij de levering op de werf is het aangewezen dat de kanalen afgesloten zijn, zodat de kanalen niet vuil worden alvorens ze geplaatst worden (figuur 66).

Verder dient men bij de installatie van de kanalen rekening te houden met de akoestgische ontkoppeling en dient men eveneens de nodige inspectieluiken te voorzien op plaatsen die fysisch onbereikbaar zijn om de kanalen op termijn te kunnen reinigen.

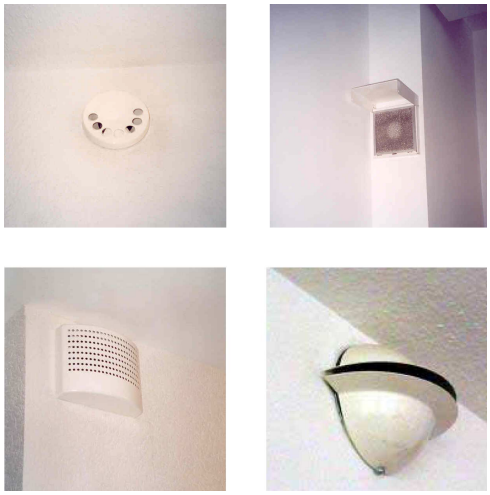


Figuur 66: Afgesloten ventilatiebuizen (WTCB; Moderne kantoren: meer comfort met minder energie)

Inblaas– en extractiemonden

Een goede keuze van de inblaas– en extractiemonden is belangrijk om tocht-verschijnselen, kortsluiting van ventilatiestromen en geluidshinder te vermijden (figuur 67). De monden moeten inregelbaar zijn en hebben best een fixatiemogelijkheid om de juiste instelling niet verloren te laten gaan bij onderhoud. De inblaas– en extractiemonden dienen zodanig in de ruimte gepositioneerd te worden, dat men een volledige ruimtedoorspoeling

krijgt. Bestudeer de werppatronen van de monden: zij mogen eveneens niet te dicht in de hoeken gepositioneerd worden om zichtbare vuilafzetting op termijn te vermijden (figuur 68). Zorg er tevens voor dat de luchtsnelheid zowel in de bewonerszone (maximaal 0,2 m/s) als ter hoogte van de ventilatiemonden niet te hoog is omwille van thermisch en akoestisch comfort. Te hoge luchtsnelheden aan de monden zorgen immers voor irritante fluitende geluiden.



Figuur 67: Soorten inblaasmonden (PHP vzw)

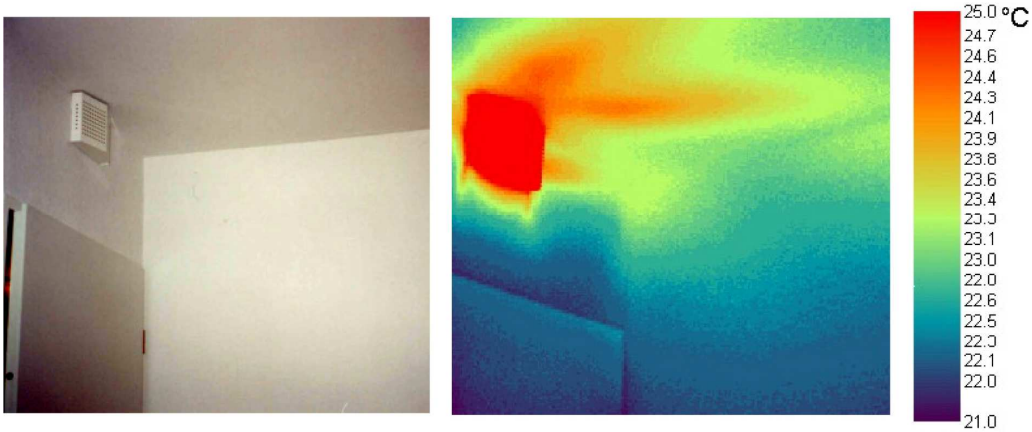
Figuur 68: Foutieve plaatsing van ventilatiemond (PHP vzw)

Essentieel voor de garantie van een goede luchtkwaliteit en zuinige werking is de correcte inregeling van de ventilatiemonden en –debieten per ruimte (figuur 69). Eis een inregelingsrapport van de installateur en doe een controle op de debietsbalans.

Figuur 69: Met behulp van een flow finder wordt het debiet aan de verschillende inblaasmonden correct geregeld (PHP vzw)

Bij de inblaasmonden wordt een onderscheid gemaakt naargelang de worp. Als de luchtstraal onmiddellijk in de ruimte geworpen wordt, is er sprake van een vrije straal.

Wanneer ze langs de wand geleid wordt, is het een halve straal of een wandstraal. Om de inblaasleidingen kort te houden kan gebruik gemaakt worden van verwerpmonden. Deze monden maken gebruik van het coanda-effect (figuur 70) Door hun werpwijze kleeft de lucht als het ware aan het plafond waardoor de verse lucht tot ver in de ruimte kan worden verspreid.

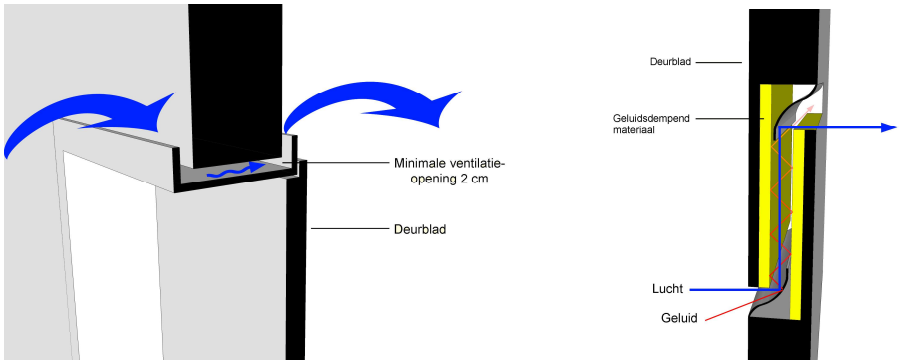


Figuur 70: Coanda-effect (Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)

Doorstroomopeningen

Om een goede ventilatiedoorstroming te hebben, zijn doorstroomopeningen van groot belang. Ook wanneer binnendeuren gesloten zijn, moet er nog een ventilatiestroom mogelijk zijn. Aan doorstroomopeningen worden volgende eisen gesteld: een gering drukverlies, rekening houden met geluidsoverdracht, vermijden dat er een kortsluiting gebeurt bij de ventilatiedoorstroming en het debiet doorheen de opening bij een drukverschil van 2 Pa stemt overeen met de geëiste capaciteit van de betrokken ruimte.

De eenvoudigste vorm van doorstroomopening is een spleet onder de deur. In de badkamer wordt normaal gezien een doorstroomrooster voorzien. Een meer esthetische oplossing is het toepassen van een verborgen voeg (figuur 71) tussen de deurlijst en de muur die met geluidsdempend materiaal voorzien kan worden. Bij toepassing van deze doorstroomopening zijn meetgegevens vereist, zodat een correcte doorstroming van de ventilatielucht verzekerd wordt.

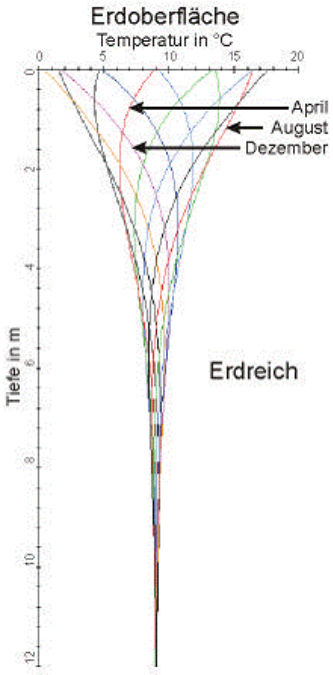


Figuur 71: Soorten doorstroomopeningen (PHP vzw)

Aardwarmtewisselaar of bodem-luchtwarmtewisselaar

De bodem heeft op een toenemende diepte een steeds constantere temperatuur zoals in onderstaande figuur duidelijk aangetoond wordt. De warmtegeleiding van de grond varieert tussen 1,5 W/mK voor klei/modder en 2 W/mK voor zand tot grind.

Door de geringe temperatuurschommeling van de bodem gedurende het hele jaar op een diepte van minimum twee meter biedt de aardwarmtewisselaar zowel in de winter als in de zomer voordelen. In de winter biedt dit als voordeel dat de koude ventilatielucht al een voorverwarming krijgt waardoor er al positieve temperaturen gemeten worden bij ingang van het balansventilatietoestel. In de zomer kan de bodem-luchtaardwarmtewisselaar gebruikt worden als passieve koelmethode. Zo zal bij een buitentemperatuur van 30℃ de verse ventilatielucht via warmte-uitwisseling met de bodem afgekoeld worden tot een temperatuur van ca. 20℃. Belangrijk is wel dat er op de warmtewisselaar in het balansventilatietoestel een bypass (meestal een klep) voorzien is zodat de afgekoelde ventilatielucht, zonder doorgang in de warmtewisselaar, rechtstreeks in de ruimtes kan worden ingeblazen wanneer de inkomende lucht een aangenamere temperatuur heeft dan de uitgaande lucht.



Figuur 72: Temperatuur van de bodem in relatie tot de bodemdiepte (Universität Siegen)

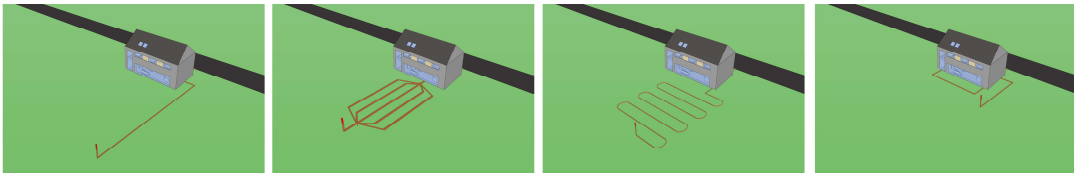
Er wordt een onderscheid gemaakt naargelang men gebruik maakt van een direct (bodem-lucht) of een indirect (bodem-glycol) systeem.

Bodem-lucht

De bodem-luchtwarmtewisselaar (figuur 73) is een direct systeem waarbij de aangezogen ventilatielucht via de grondbuis naar de warmtewisselaar van de balansventilatie gebracht wordt. Door de quasi constante temperatuur van de grond op een diepte van ongeveer twee meter, gebeurt er een warmte-uitwisseling tussen de bodem en de aangezogen koude ventilatielucht.

Figuur 73: Voorbeeld van een flexibele grondbuis voor plaatsing (PHP vzw)

Een bodem-luchtaardwarmtewisselaar of grondbuis is een lange (tussen 40 en 50 meter lengte) luchtdichte en inwendig gladde buis (omwille van geringe luchtweerstand en hygiëne) die zoals eerder vermeld op een diepte van minimum twee meter geplaatst wordt. Studies hebben al aangetoond dat er bij een diepte variërend van 2 tot 5 meter geen significante verschillen in het rendement van de installatie zijn. In onderstaande figuur wordt met enkele voorbeelden aangetoond, hoe een grondbuis geplaatst kan worden. Een nadeel van de bodem-luchtaardwarmtewisselaar is dat tijdens de tussenseizoenen de aangevoerde ventilatielucht kan afkoelen terwijl dit niet wenselijk is. Een oplossing bestaat erin ook hiervoor een extra bypassklep te voorzien zodat de aangevoerde lucht niet meer doorheen de grondbuis gaat.



Figuur 74: Verschillende mogelijkheden voor de plaatsing van een grondbuis (PHP vzw)

Belangrijk is dat de buis in een helling geplaatst wordt (minimum 2%) met het diepste punt gericht naar een opvang van condensatievocht of afvoergoot. Zo kan condenswater dat eventueel ontstaan is in de grondbuis samenkomen in dit punt en via een dompelpomp verwijderd worden. Indien een kelder aanwezig is, verdient het de voorkeur af te voeren naar de kelder. Op die manier kan het eventuele condensatievocht gravitair afgevoerd en opgevangen worden. Zo zal er nooit condenswater in de aardwarmtewisselaar blijven staan. Condensatie zal voornamelijk optreden tijdens de eerste lentedagen wanneer de lucht zeer vochtig en de grond nog relatief koud is. Ook in de zomer tijdens warm weer met hoge relatieve vochtigheid zal er condensatie optreden.

Een veilige en hygiënische condensafvoer is absoluut noodzakelijk. Belangrijk is dat er een afweging moet zijn tussen de lengte van de buis en de drukverliezen die daarmee gepaard gaan.

Het rendement van de bodem-luchtaardwarmtewisselaar kan men berekenen via de software “PHLuft” die gratis kan worden gedownload via http://www.passiv.de (Publikationen → Software en Download).

Bodem-glycol

Bij het gebruik van dit type aardwarmtewisselaar kan het aangewezen zijn om het balansventilatietoestel te positioneren vlakbij het binnenkomen van de leiding. De opbouw bestaat uit een buizensysteem in de grond en een warmtewisselaar in het aanzuigluchtkanaal. Dit netwerk bevat een glycoloplossing die via een pomp rondcirculeert. De buisdiameters variëren van DN20 tot DN40 (figuur 75) en de lengte varieert van 35 tot 50 m afhankelijk van de gewenste debieten en rendementen. Net zoals

bij een bodem-luchtwarmtewisselaar moet het buizensysteem op voldoende diepte liggen om niet meer afhankelijk te zijn van de temperatuurschommelingen van de seizoenen. De glycoloplossing zal het teveel aan warmte of koude van de bodem overdragen op de verse toevoerlucht. Een bypass wordt hier eenvoudig gekregen door het uitschakelen van de pomp. Ook kan het systeem beter geregeld worden aan de hand van het debiet dat per uur doorheen het systeem gaat.

In deze luchtbatterij zal ook condensatie optreden wanneer in de zomermaanden warme vochtige lucht afgekoeld wordt. Het is dan ook aangewezen dat naast een elektriciteits-aansluiting voor de circulatiepomp hier een extra condensafvoer wordt voorzien. Verder dient ook plaats voorzien te worden voor een veiligheidsgroep en expansievat.

Het voordeel is dat men hier geen problemen kan krijgen met het waterdicht zijn van de grondbuis en dat men het systeem eenvoudig kan bypassen op momenten dat de werking overbodig is. Men mag echter wel niet vergeten dat er hier wel een extra pomp in het systeem voorkomt die ook energie verbruikt.

Figuur 75: Bodem-glycol aardwarmtewisselaar (www.nei-dt.de)

Dampkap

Een dampkap is een bijzonder aandachtspunt in een passiefhuis aangezien die een grote invloed kan hebben op het balansventilatiesysteem. Een traditionele dampkap is uit den boze aangezien ze een probleem vormt bij de luchtdichtheid van het gebouw en ze warme vochtige lucht naar buiten blaast zonder de energie te recuperen en bovendien de woning in ondruk zou brengen, waardoor buitenlucht ongecontroleerd zal infiltreren.

Een goede oplossing bestaat erin te kiezen voor een recirculatiedampkap (figuur 76). Dit type dampkap zuigt de vochtige, warme kooklucht uit de keuken af en via vet- en koolstoffilters wordt de lucht ontvet en ontgeurd vooraleer deze terug de ruimte ingeblazen wordt. Het voordeel van dit soort dampkappen is dat ze geen onevenwicht veroorzaken in de balansventilatie en er geen warmte rechtstreeks naar buiten wordt geblazen. De normale extractiemond in de keuken dient wel voorzien te zijn van een roestvrij stalen

uitwasbare vetfilter die maandelijks onderhoud geniet.

Figuur 76: Recirculatiedampkap (PHP vzw)

Droogkast

Het is technisch ook mogelijk om een droogkast te integreren als systeem op de afvoer van de (warme) ventilatielucht (figuur 77). Om te vermijden dat de leidingen vervuild geraken met stof wordt hier een afzuigventiel met geïntegreerde stoffilter aanbevolen.

Figuur 77: Droogkast aangesloten op de balansventilatie (St. Jacob project te Frankfurt; PHP vzw)

Keuze en plaatsing van een balansventilatiesysteem

De keuze van een balansventilatiesysteem hangt af van diverse factoren zoals de gewenste debieten en de te verwachten drukval. Een toestel dat vb. 280 m³/h kan leveren bij 0 Pa zal bijvoorbeeld slechts 180 m³/h leveren bij een meer realistischere drukval van 100 Pa. Ook het rendement van de warmtewisselaar en het ventilatorverbruik dienen in dit werkingspunt geëvalueerd te worden.

Zoals al werd beschreven bij het voorontwerp, moet er rekening gehouden worden met de plaatsing en afmeting van de diverse componenten van de balansventilatie. Het toestel moet zo geplaatst worden dat het gemakkelijk toegankelijk is bij onderhoud. Ook het kanalenverloop moet zo efficiënt mogelijk ontworpen zijn met korte verlopen en zo weinig mogelijk bochten zodat de drukval beperkt blijft.

Afhankelijk van de keuze van het balansventilatiesysteem, de plaatsing van de vertrekkende kanalen en de nodige debieten, kunnen sommige toestellen zelfs ingewerkt worden in een kast!

4.2.3 Naverwarming en warm tapwater

Tijdens het grootste deel van het jaar zorgen de passiefhuismaatregelen ervoor dat de woning op comforttemperatuur blijft zonder een verwarmingssysteem te gebruiken. Om tijdens alle omstandigheden een aangenaam binnenklimaat in het passiefhuis te verzekeren, bijvoorbeeld bij extreme buitencondities, is een verwarming van geringe capaciteit nodig om in de resterende warmtebehoefte te voorzien. De maximale warmtevraag bedraagt in extreme omstandigheden slechts ca. 10 W/m². Dat wil zeggen dat een gemiddelde woning verwarmd kan worden met het vermogen van een strijkijzer (1000 à 2000 W). Bij dit zeer geringe vermogen zal het dus mogelijk zijn om de verwarmingsbehoefte volledig te dekken met een lichte naverwarming van de standaardventilatielucht. Het PHPP-rekenpakket kan u hierover uitsluitsel geven.

Zoals de meeste woningen heeft een passiefhuis een systeem voor warm tapwater nodig. Evenals voor ruimteverwarming is het belangrijk dat het systeem voor warm tapwater energie-efficiënt is. In het algemeen wordt in een passiefhuis de bron van het verwarmingssysteem voor tapwater gecombineerd met die voor het ruimteverwarmingssysteem, omdat het benodigde vermogen en het piekvermogen voor de productie van warm tapwater het grootst is. Dat betekent dat de installatiekeuze voor verwarming feitelijk gedomineerd wordt door de warm tapwatervraag en dat de ruimteverwarming als ondergeschikt kan worden opgevat. Vanuit deze redenering zijn opties op basis van zonne-energie, gas en elektriciteit rendabel. Oplossingen die in een passiefhuis toegepast worden, staan hieronder beschreven.

Bereiding van warm tapwater

Er zijn tal van systemen voor het produceren van warm tapwater. Belangrijk te vermelden is dat alle verbrandingstoestellen gesloten systemen moeten zijn. Als dit niet het geval zou zijn, onttrekken ze lucht uit de woning voor de verbranding en is de balansventilatie uit evenwicht. Tevens dienen de leidingen goed geïsoleerd en gedimensioneerd te zijn, te grote leidingsecties leiden tot extra warmteverliezen. Ook de leidinglengtes dienen om dezelfde reden beperkt te worden tot een strikt minimum. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen systemen met een opslagvat enerzijds en doorstroomsystemen anderzijds.

Systemen met een opslagvat

Deze toestellen hebben als voordeel dat ze grote debieten warm tapwater kunnen leveren. Het nadeel is dat één keer het vat leeg is, het vermogen van deze toestellen niet groot genoeg is om de woning onmiddellijk in warm tapwater te voorzien. Bijgevolg kan een te klein gedimensioneerde installatie lange wachttijden met zich meebrengen, anderzijds zal een te groot gedimensioneerde boiler een groter energieverlies met zich meebrengt. De dimensionering van het opslagvat is dus het belangrijk alsook de isolatiegraad is, zodat de warmteverliezen tot een minimum beperkt worden. Naargelang de grondstof die voor de productie zorgt, maken we onderscheid tussen:

- Elektriciteit
  - **Elektrische weerstand.** De productie van warm tapwater via een elektrische weerstand verdient niet de voorkeur. De investeringskost is heel klein, maar de verbruikskosten zijn hoog. Tevens is het opwekkingsrendement van elektrische energie laag. We hebben immers 2,5 maal meer primaire energie nodig als we iets elektrisch verwarmen, terwijl bij andere systemen de primaire energiebron bijna volledig wordt omgezet in warmte.
  - **Warmtepomp.** Indien echter de productie van warm tapwater gebeurt via een warmtepomp, zal dit al veel minder energie vergen. Enkel de compressor verbruikt elektrische energie. Doch haalt ook dit systeem geen fantastisch rendement aangezien er een redelijk groot temperatuursverschil overwonnen moet worden.

  In beide gevallen is het dan ook aangewezen om dit systeem te combineren met een zonneboilerinstallatie.

- Gas
  - **Direct gestookt gasboiler of boiler opgewarmd via gasketel.** Bij een direct gestookte gasboiler zit de gasbrander en de boiler in één toestel verwerkt.

Een boiler opgewarmd via een gasketel bestaat uit twee toestellen enerzijds de gasketel en anderzijds een opslagvat.

- Biomassa
  - **Pellets, hout, olijfpitten, ethanol,…** Verbranding van biomassa dat via een systeem de woning voorziet van warm tapwater.

Onmiddellijke productie van warm tapwater

Onmiddellijke productie wil zeggen dat er enkel warm tapwater geproduceerd wordt op het moment van de vraag. Dit dient te gebeuren door een doorstroomtoestel met gesloten verbranding en liefst zonder waakvlam. Deze techniek biedt het voordeel dat er niet constant een (groot) opslagvat op temperatuur moet gehouden worden, welke in vele gevallen tot aanzienlijke transmissieverliezen leidt. Het heeft wel als nadeel dat ook bij elke zeer kleine vraag naar warm tapwater de ketel aanslaat. Sommige producenten spelen hierop in door het inbouwen van een klein opslagvat, zodat de ketel enkel opslaat bij grotere tapdebieten. Een ander nadeel is dat de watertemperatuur zal dalen bij het gelijktijdig openen van meerdere warmwater tappunten. Thermostatische kranen kunnen dit deels opvangen door een reductie van het debiet.

De energie die nodig is om het warm tapwater voor de douche te produceren, kan naast de spaardouchekop verder gereduceerd worden door gebruik te maken van een douchewarmtewisselaar (figuur 78). Dit toestel zorgt ervoor dat het koude aangevoerde water al een voorverwarming krijgt door een warmte-uitwisseling tussen het afgevoerde douchewater en het aangevoerde leidingwater vooraleer het naar de boiler gaat. De leidingafstanden tussen de verschillende componenten dienen beperkt te zijn om een goed rendement te halen.

Figuur 78: Douchewarmtewisselaar (Alexis Versele)

Naverwarming

Vooraleer een keuze gemaakt wordt in de naverwarming, kan in de PHPP-berekening nagekeken worden wat de mogelijkheden zijn. Kan de naverwarming volledig gebeuren via de ventilatielucht? Kiest men voor een gemengd systeem (deels via de ventilatielucht, deels via een vrijstaand verwarmingslichaam) of kiest men voor een vrijstaand verwarmingslichaam?

Bij het uitvoeren van deze berekening dienen alle parameters gekend te zijn, om een juiste dimensionering te bekomen. Er dient steeds uitgegaan te worden van de slechtst mogelijke situatie. In onderstaande tabel staan alle componenten waarvoor tijdens het voorontwerp defaultwaardes zijn ingevuld. Die waardes moeten nu vervangen worden door reële waardes.

Component	Waarde
U-waarde beglazing	Reële waarde
U-waarde profiel	Reële waarde
g-waarde glas	Reële waarde
$\Psi_{glaslat}$	Reële waarde

Ψ_{inbouw}	Reële waarde
N_{50}-waarde	Reële waarde
$\eta_{aardwarmtewisselaar}$	Reële waarde (indien van toepassing)
η_{WTW}	Reële waarde
IWW	Reële waarde
Beschaduwing	Reële waarde

De naverwarming van passiefhuizen is afhankelijk van de keuze van de bewoners, het concept van de woning en van de warmtevraag. Via de PHPP-berekening kan men nagaan hoe groot de resterende warmtevraag is in een worst case scenario (in onderstaand voorbeeld bedraagt dit 10,9 W/m²).

Behoefte vermogen verwarming P_H				=		2377	W
Oppervlaktespecifiek vermogen P_H / A_{EB}				=		10,9	W/m²
		Invoer max. temp. toevoerlucht	℃				
Temp. toevoerlucht zonder naverwarming	$\vartheta_{pul,Min}$ 17 ℃	Max. Temp. Pulsie	$\vartheta_{pul,Max}$ 52 ℃				
ter vergelijking: warmte transporteerbaar via de toevoerlucht $P_{pulsie;Max}$				=	1912 W	specifiek: 8,8	W/m²

Figuur 79: Berekening resterende warmtebehoefte (PHP vzw)

Men kan voor de naverwarming 3 mogelijkheden onderscheiden:

Naverwarming via ventilatielucht

Indien men de naverwarming van een passiefhuis wenst te realiseren via de ventilatielucht dient men eerst en vooral na te gaan in de softwareberekening of dit mogelijk is. De PHPP-software geeft een waarde die zegt hoeveel warmte er via de ventilatielucht maximaal kan meegegeven worden. Als de software een getal aangeeft dat groter of gelijk is aan de warmtevraag (zoals in onderstaand voorbeeld) dan kan de naverwarming volledig gebeuren via de ventilatielucht.

Behoefte vermogen verwarming P_H			=	1961	W
Oppervlaktespecifiek vermogen P_H / A_{EB}			=	9,0	W/m²
		Invoer max. temp. toevoerlucht	℃		
Temp. toevoerlucht zonder naverwarming	$\vartheta_{pul,Min}$ 14 ℃	Max. Temp. Pulsie	$\vartheta_{pul,Max}$ 52 ℃		
ter vergelijking: warmte transporteerbaar via de toevoerlucht	$P_{pulsie;Max}$		=	2050 W	9,4 W/m²

Figuur 80: Naverwarming kan volledig gebeuren door naverwarming van de ventilatielucht (PHP vzw)

In passiefwoningen wordt de ventilatielucht in veel gevallen naverwarmd via een elektrische weerstand (figuur 81) of warmwaterbatterijen die eventueel gekoppeld zijn aan het warm tapwater.

Figuur 81: Elektrische weerstand als naverwarming (PHP vzw)

Naverwarming d.m.v. elektrische weerstanden is het goedkoopste alternatief in installatiefase, maar wel het duurste in de gebruiksfase. De voorkeur gaat dus eerder uit naar een warmwaterbatterij indien dit water natuurlijk niet direct elektrisch verwarmd is.

Er zijn verschillende mogelijkheden van warmwaterbatterijen:

- 1 centrale warmwaterbatterij: dit systeem wordt toegepast in woningen waar in alle ruimtes een quasi gelijke temperatuur gevraagd wordt.
- 1 warmwaterbatterij per ruimte: dit systeem laat toe dat per ruimte de keuze van het al dan niet aan– of afzetten van de warmwaterbatterij vrij blijft. Dit laat een grote keuzevrijheid naar de bewoners toe, aangezien ruimtes in een woning voortdurend kunnen veranderen naargelang de behoeften van de bewoners.
- 1 verwarmingsbatterij enkel op het inblaaskanaal naar de woonkamer: de slaapkamers zijn dan iets frisser. Als de ingeblazen slaapkamerlucht via de badkamer wordt afgezogen, dan dient hier een extra warmtebron voorzien te worden onder de vorm van een handdoekradiator, een muur– of

vloerverwarming, een vloerconvector of een gewone radiator.

Indien uit de softwareberekening blijkt dat de naverwarming niet volledig gedekt kan worden door de ventilatie, kan men kiezen voor een naverwarming door andere systemen of voor een gemengd systeem (zie volgende paragrafen).

In onderstaand voorbeeld bedraagt de warmte die via de ventilatie kan meegegeven worden 8,8 W/m². Als men nog meer warmte zou meegeven via de ventilatie zal de luchttemperatuur te hoog oplopen en stofschroei optreden. Dit verspreidt een onaangename geur in de woning en moet absoluut vermeden worden.

Behoefte vermogen verwarming P_H			=		2377	W
Oppervlaktespecifiek vermogen P_H / A_{EB}			=		10,9	W/m²
		Invoer max. temp. toevoerlucht	℃			
Temp. toevoerlucht zonder naverwarming	$\vartheta_{pul,Min}$ 17 ℃	Max. Temp. Pulsie	$\vartheta_{pul,Max}$ 52 ℃			
ter vergelijking: warmte transporteerbaar via de toevoerlucht	$P_{pulsie;Max}$		=	1912 W	specifiek: 8,8	W/m²

Figuur 82: Naverwarming kan niet volledig gebeuren door naverwarming van de ventilatielucht (PHP vzw)

Naverwarming via andere systemen

De naverwarming van een passiefwoning kan ook gebeuren via een vrijstaand verwarmingslichaam in de ruimte zoals een pelletkachel, radiator, (vloer)convector, vloerverwarming, ethanolhaard,…

Aangezien bij passiefhuizen de oppervlaktetemperaturen van de buitenwanden niet veel lager liggen dan de luchttemperatuur in de woning is het mogelijk en zelfs aangewezen om deze verwarmingstoestel(len) centraal te plaatsen. In de buurt van het raam zal je immers geen koudegevoel hebben en radiatoren aan de ramen zijn dus overbodig.

Een kleine radiator (handdoekdroger) of een enkele wandleiding in de badkamer levert het voordeel van een lokaal hogere comforttemperatuur. De radiator kan gemakkelijk worden aangesloten aan de ketel voor de bereiding van warm tapwater, zonder dat deze ketel moet worden gedimensioneerd op ruimteverwarming.

Naverwarming via gemengd systeem

Men kan ook een gemengd systeem toepassen. De naverwarming wordt deels voorzien door een naverwarming van de ventilatielucht (vb. de slaapkamers) en deels door een ander systeem (vb. radiator, pelletkachel in de woonkamer).

In de voorbeeldprojecten die op de cd-rom zijn opgenomen, wordt ook telkens de klimatisatie per project besproken. Dit geeft een goed overzicht van welke mogelijkheden er al toegepast zijn.

Compacte geïntegreerde toestellen

De klimatisatie van passiefwoningen kan ook gerealiseerd worden door compacte geïntegreerde systemen of compacttoestellen. Dit zijn complete systemen van huishoudtechniek die zowel instaan voor de naverwarming als voor de productie van warm tapwater. Het voordeel van dergelijke toestellen is dat op de werf slechts één toestel moet geplaatst worden in plaats van verschillende toestellen (vb. balansventilatietoestel, toestel voor de productie van warm tapwater,…)

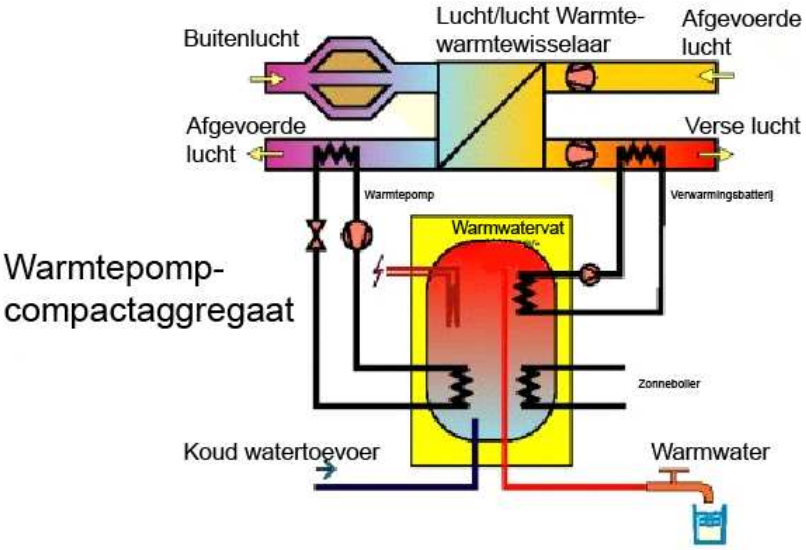
Elektrisch compacttoestel

Een balansventilatiesysteem met warmterecuperatie, dat geïntegreerd is in de compacttoestel (figuur 83), zorgt ervoor dat de warmte van de afgevoerde vervuilde lucht wordt overgedragen op de verse toevoerlucht. Aangezien men niet alle warmte kan overdragen, bevat de afgevoerde lucht nog steeds een kleine hoeveelheid warmte na doorgang in de warmtewisselaar. De warmtepomp zal deze restwarmte recupereren en opslaan in een sanitair warmwatervat via een vloeistof-vloeistofwarmtewisselaar. Een warmtepomp onttrekt warmte vanuit zijn omgeving (water, lucht, bodem). Het rendement van een warmtepomp is hoger naarmate het temperatuurverschil tussen de warmtebron en het verwarmingssysteem klein is.

Een systeem met een warmtepomp verbruikt enkel de elektrische energie van de compressor. Het elektrische verbruik van die compressor bedraagt in optimale omstandigheden slechts een fractie van de energie die gewonnen kan worden voor verwarming van warm tapwater of voor de ruimteverwarming.

Het warm tapwater dat geproduceerd werd door de warmtepomp zal enerzijds dienst doen als warm tapwater en anderzijds wordt het aangewend om de verse toevoerlucht na te verwarmen in het korte stookseizoen.

Het vat heeft een interne elektrische weerstand en kan bijkomend een zonneboileraansluiting hebben. De elektrische weerstand zal bijspringen indien zowel de zon als de warmtepomp onvoldoende vermogen kunnen leveren op piekverbruikmomenten. Op die manier kan de woning ten allen tijde voorzien in warm tapwater.



Figuur 83: Schematische voorstelling compacttoestel
(Passivhaus Institut, Darmstadt, Duitsland, www.passiv.de)

Gasgestookt compacttoestel

Deze toestellen zijn in volle ontwikkeling. Ze zijn opgebouwd uit een condensatieketel die. zorgt voor de productie van warm tapwater. Het toestel kan eveneens instaan voor de voeding van warmwaterbatterijen die zorgen voor de naverwarming van de ventilatielucht. Eventueel kan een zonneboiler op het toestel aangesloten worden.

4.3 Andere energiezuinige maatregelen

4.3.1 Energiezuinige toestellen

Het energieverbruik voor verwarming en warm water is in een passiefhuis al sterk gereduceerd waardoor het elektrische energieverbruik een groter aandeel heeft in het totale energieverbruik. Elektrische energie wordt in een woning voor veel doeleinden aangewend: verlichting, koken, wassen,… Het passiefhuisconcept richt zich in eerste instantie op het beperken van de energieverliezen. Dit betekent niet alleen het verminderen van thermische verliezen, maar ook het reduceren van het elektrische energieverbruik door middel van energiezuinige toestellen. Door een passieve woning te voorzien van huishoudapparaten met maximale efficiëntie (zoals warmwateraansluiting voor wasmachines en afwasmachines, gasdroogkasten, spaarlampen en FL-lampen), kan de elektriciteitsconsumptie met 50% worden gereduceerd zonder tevredenheidsverlies van de gebruikers. Zuinige huishoudapparaten zijn over hun levensduur goedkoper dan conventionele toestellen aangezien zij zichzelf terugbetalen onder de vorm van energiebesparing.

Indien de toestellen voorzien zijn van een afvoer naar buiten toe, moet er aandacht besteed worden aan het luchtdicht maken van de doorgang.

Huishoudtoestellen worden geclassificeerd aan de hand van energielabels van A tot G: een A-label wijst op energiezuinige toestellen en genieten dus de voorkeur boven G-labels, die staan voor apparaten die veel elektrische energie verbruiken. Voor een aantal toestellen dienen van bij het ontwerp al maatregelen genomen te worden in verband met plaatsing zodat in een later stadium geen verrassingen opduiken.

Hotfill was– en vaatwasmachine

Een traditionele was– en vaatwasmachine produceert het warm water steeds elektrisch. Een hotfill wasmachine (figuur 84) heeft zowel een warm– als koudwateraansluiting waardoor het energieverbruik van het toestel drastisch daalt. De afstand van de warmwaterproductie tot de tappunten dient zo kort mogelijk te zijn (< 5 m) om leidingverliezen zoveel mogelijk te beperken. Indien het warm tapwater door een elektrische boiler geproduceerd wordt, is het gebruik van een gewoon toestel te verkiezen omdat de leidingverliezen dan vermeden worden.

Figuur 84: Energiezuinige huishoudtoestellen (PHP vzw)

Koelkast en diepvriezer

Kies voor een A+ of een A++ label. Het plaatsen van beide toestellen in de omgeving van warmtebronnen zoals een oven, zorgt voor een verhoging van het verbruik.

Figuur 85: Diepvriezer met A-label (PHP vzw)

Droogkast

De meeste droogkasten halen hun warmte uit een elektrische weerstand. Aangezien de elektriciteit instaat voor de verwarming halen deze types (luchtafvoer– en condensatie-droogkasten) slechts een C-label.

Een andere techniek bestaat erin de warmte te produceren door middel van een warmtepomp. De droogkast onttrekt de warmte van de vochtige warme lucht en dit type droogkast haalt een A-label. Aangezien deze techniek op lage temperatuur werkt, duurt het droogproces langer.

Een ander type zijn de droogkasten op aardgas die tot 50% minder energie verbruiken dan een gewone droogkast. Bijkomend voordeel is dat de was twee maal zo snel droog is. Natuurlijk is een aardgasaansluiting en afvoer van verbrandingsgassen essentieel.

Een laatste type droogkasten zijn de toestellen die aangesloten worden op het ventilatiesysteem en die hierboven reeds vermeld werden.

4.4 Hernieuwbare energie

Als laatste stap in het passiefhuisconcept kan eventueel hernieuwbare energie worden aangewend. Door het beperken van de thermische verliezen en lekverliezen is de energievraag van een passiefhuis sterk gereduceerd. Daardoor is het verantwoord om de resterende energievraag te dekken met hernieuwbare energie. Elektrische energie in de woning kan voorzien worden door PV-panelen te plaatsen of door groene stroom te kopen. Ook het energieverbruik voor warm tapwater en voor de naverwarming kan (grotendeels) gedekt worden door hernieuwbare energie zoals zonnecollectoren en warmtepomp.

4.4.1 Zonnesystemen

PV-panelen

Een manier om hernieuwbare energie toe te passen is het plaatsen van PV-panelen of fotovoltaïsche panelen. Ze bestaan uit siliciumkristallen die onder invloed van zonne-energie stroom opwekken. Het rendement van de panelen is afhankelijk van het type silicium. Commerciële panelen halen momenteel een rendement van maximaal 15%. Er bestaan twee systemen: het autonome fotovoltaïsch systeem en het netgekoppelde fotovoltaïsch systeem. Het eerste systeem wordt veelal gebruikt in kleine toepassingen zoals rekenmachines en parkeermeters, maar ook in afgelegen woningen. Overdag leveren de panelen elektriciteit aan de gebruikers en de resterende niet-gebruikte elektriciteit wordt opgeslagen in batterijen voor ’s nachts.

Het netgekoppelde systeem wordt het meest toegepast voor woningen. De opgewekte elektriciteit kan na omvorming tot wisselstroom onmiddellijk gebruikt worden door de gebruiker. Bij een groter aanbod dan vraag wordt de elektriciteit doorgeschakeld naar het net waarbij de elektriciteitsmeter terugdraait. Wanneer de zon onvoldoende energie levert, wordt elektriciteit altijd voorzien door de netkoppeling.

De plaatsing van de panelen is belangrijk voor het behalen van een goed rendement. Om die reden staan de panelen best georiënteerd tussen zuidoost en zuidwest in een helling tussen de 20° en 60°. Voor een idee van grootteorde van de installatie mag gerekend worden op 10 m² per 1000kWh jaaropbrengst voor de polykristallijn techniek, voor andere technieken (monokristallijn, hybridetechnieken,…) is dit anders.

Zonnecollector

In tegenstelling tot PV-panelen die zorgen voor elektrische energie, staan zonne-collectoren in voor ofwel de productie van warm tapwater ofwel de naverwarming ofwel een combinatie van beide, afhankelijk van het type.

Verhoudingsgewijs vormen de kosten voor warmwaterproductie in een passiefhuis een groter aandeel dan de kosten voor de warmtevraag voor ruimteverwarming. Om de energiekosten te doen dalen, zal men gebruik maken van de energie van de zon die ook in onze streek genoeg energie levert. Een zonneboiler capteert de warmte van de zon om het warm tapwater op te warmen. Er zijn twee types op de markt: de vlakkeplaatcollector (figuur 86) en de vacuümcollector.

De vlakkeplaatcollector wordt in België het meest toegepast omdat hij gunstiger is naar materiaalverbruik, installatie, reparatie en onderhoud in vergelijking met de vacuüm-collector.

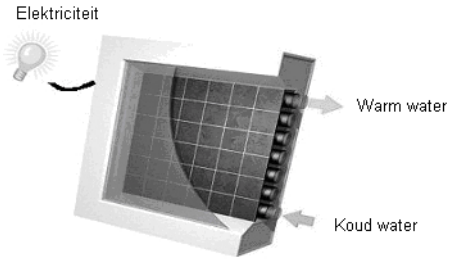
Luchtcollectoren daarentegen kunnen instaan om de ventilatielucht na te verwarmen.

Figuur 86 : Vlakkeplaatcollector (passiefwoning te Ename; Architect Christophe Debrabander)

Geïntegreerde systemen

Een interessante nieuwe optie is de fotovoltaïsche thermische collector. fotovoltaïsche thermische collectoren hebben de grootste energetische opbrengst per vierkante meter ten opzichte van andere zonne-energiesystemen zoals de PV-modules en de zonne-collectoren. PVT-collectoren (figuur 87) genereren namelijk zonnestroom en zonnewarmte uit één apparaat.

De PVT-collector kan in een passiefhuis het beste worden ingezet voor de verwarming van het tapwater. De opgewekte zonnestroom kan worden gebruikt om een gedeelte van de gebouwgebonden elektriciteitsvraag te dekken zoals de aansturing van de zonne-installatiepomp of kan worden teruggeleverd aan het net.



Figuur 87: Principe van een PVT-collector (Marcel Elswijk – PVTWINS)

4.4.2 Windenergie

Windturbines

Windturbines zijn de meest eenvoudige oplossing om bij de energieleverancier resoluut te kiezen voor de aankoop van groene stroom. Tegenwoordig zijn er leveranciers die in het bijzonder voor lage energiegebouwen een vast elektriciteitstarief per kWh aanbieden, zonder vaste kosten.

Kleinschalige systemen

Tegenwoordig bestaan er kleinschalige systemen die eventueel kunnen worden geïntegreerd in hoogbouw. Bij ontwikkelingen op wijkniveau kan een gezamenlijke investering in een windmolen een interessante optie zijn.

4.4.3 Warmtekrachtkoppeling (WKK)

Bij het produceren van elektrische energie komt er veel warmte vrij. Warmtekrachtkoppeling maakt nuttig gebruik van deze warmte waardoor het rendement verdubbeld wordt.

Momenteel vindt WKK vooral zijn toepassing in grotere bedrijven die een grote warmtebehoefte hebben, maar er gebeurt onderzoek om deze techniek op kleinere schaal toe te passen. Voor de individuele woningbouw is de zogenaamde 'micro-warmtekrachtkoppeling' nog niet economisch rendabel, wel kan WKK op wijkniveau een interessante oplossing zijn.

05 Certificatie

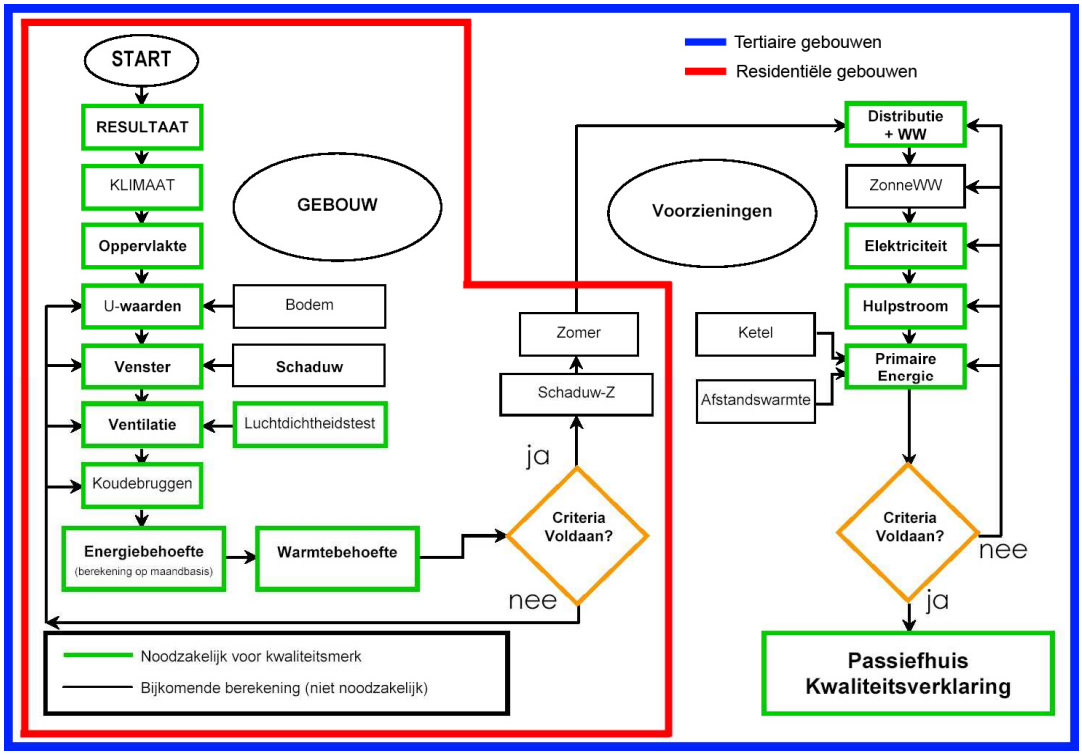
5.1 Certificatieprocedure

In 2002 werd het passiefhuisconcept in België gelanceerd met de oprichting van Passiefhuis-Platform vzw. Sindsdien zijn er al heel wat passiefhuizen gerealiseerd. De eerste certificatie vond plaats in 2004 en anno 2007 zijn tien projecten gecertificeerd, waarvan 2 tertiaire gebouwen. Internationaal is het de bedoeling een kwaliteitsverklaring en label voor passiefhuizen op te stellen, rekening houdend met de nationale verschillen in ligging en klimaat. Die maatregel heeft als voordeel dat passiefhuizen die de passiefhuisstandaard bereiken onderscheiden worden en dat de kwaliteit van de term 'passiefhuis' beschermd wordt tegen ontwikkelaars die de term passiefhuis zouden gebruiken om niet-passieve gebouwen lucratief te verkopen. Bovendien biedt het de koper van een passiefhuis garanties wat betreft energieprestaties van het gebouw en binnencomfort.

De toekenning van een passiefhuiscertificaat houdt op de eerste plaats een softwarematige ontwerpcontrole in van het karakteristieke gebouw. Het is de verantwoordelijkheid van de bouwpartners om de realisatie ook voldoende af te stemmen op het werkelijk gebruik. De kwaliteitsverklaring maakt enkel een inschatting op basis van een standaard gebruik.

Alvorens een certificatiedossier kan opgestart worden, moet een aanvraagdossier worden ingediend waarin onder andere de inplanting van het gebouw, plannen en snedes, detailtekeningen, fotomateriaal, technische fiches van schrijnwerk en technische installaties, enz. bevinden. Op de cd-rom bevindt zich een checklist voor de aanvraag tot certificatie.

De criteria voor de certificatie hangen af van de functie van het gebouw (figuur 88). Algemeen volgt men onderstaand schema waarbij er een grote opdeling wordt gemaakt tussen residentiële en tertiaire gebouwen.



Figuur 88: Certificatieprocedure voor residentiële en tertiaire gebouwen (PHP vzw)

Op de cd-rom bevindt zich bijkomende informatie rond de criteria waar residentiële gebouwen dienen aan te voldoen om in aanmerking te komen voor een kwaliteitsverklaring. Indien u nog vragen zou hebben omtrent de certificatie dan kan u steeds PHP contacteren.

5.1.1 Criteria voor residentiële gebouwen

Voor residentiële gebouwen zijn er momenteel drie eisen waar aan moet voldaan zijn. Als eerste is er de verwarmingsbehoefte die maximaal 15 kWh/m² mag bedragen. Daarnaast moet het certificaat van de luchtdichtheidstest een n_{50}-waarde aangeven die kleiner of gelijk is aan 0,6 per uur. Ook moet de oververhitting (gerekend boven de 25°C) kleiner of gelijk zijn aan 10%.

Bovendien streeft men naar U-waardes voor de wanden (vloer, muur, dak) die kleiner zijn dan 0,15 W/m²K en die voor het schrijnwerk kleiner zijn dan 0,8 W/m²K . De ervaring leert dat om te voldoen aan de eis van de maximale verwarmingsbehoefte, de U-waarden voor de wanden lager liggen dan de streefcijfers.

Een koudebrugvrije constructie is het streefdoel, indien er toch nog koudebruggen aanwezig zijn, is er een richtwaarde waarbij de psi-waarde niet hoger mag zijn dan 0,01 W/m.K of dient een condensatievrije constructie verzekerd te zijn.

Wat technieken betreft, wordt voor de warmtewisselaar van het balansventilatietoestel een rendement van minimum 75% nagestreefd. Bovendien kiest men best voor een toestel met efficiënte ventilatoren waarbij het verbruik beperkt is tot maximum 0,45W/(m^3/h) .

5.1.2 Criteria voor tertiaire gebouwen

Aangezien in tertiaire gebouwen ook een groot deel van het energieverbruik naar verlichting gaat, dient men een lichtstudie te maken. Hierbij dient men in de eerste plaats aandacht te schenken aan daglichttoetreding. Vervolgens zullen passieve tertiaire gebouwen steeds uitgerust worden met zeer efficiënte kunstverlichtingsapparatuur. In deze gebouwen zal men streven naar een primair energiekengetal dat lager is dan 120 kWh/m^2jaar. Hierin zijn onder andere volgende componenten in opgenomen: het stroomverbruik voor verwarming, passieve koeling, warm water en verlichting. Verder zal men ook oog moeten hebben voor het oververhittingspercentage, waar het aanbevolen is om een maximale temperatuursoverschrijdingstijd van 5% te hanteren.

5.2 PHPP-berekening voor certificatie

Nadat het ontwerp van de woning is voltooid, wordt een berekening met de PHPP-software uitgevoerd. In deze berekening wordt nagegaan of aan de verschillende vereisten werd voldaan. Een essentieel verschil met de voorcalculatie is dat er in de PHPP-software moet aangeduid worden dat het gaat om een berekening waarbij de eisen worden nagezien in plaats van een ontwerpberekening (figuur 89).

		kruis aan
Aantal personen proj.	Nazicht van de eisen	X
4	Ontwerp	

Figuur 89: Nacalculatie (PHP vzw)

Het verschil is dat bij een ontwerpberekening nog niet alle gegevens gekend zijn. Voor sommige delen vult de software dan startwaarden in. Bij de berekening voor certificatie moeten voor de hiernavolgende parameters, de reële waarden worden ingevuld ten opzichte van de defaultwaardes bij de voorontwerpfase.

Component	Waarde
U-waarde beglazing	Reële waarde
U-waarde profiel	Reële waarde
g-waarde glas	Reële waarde
$\Psi_{glaslat}$	Reële waarde
Ψ_{inbouw}	Reële waarde
N_{50}-waarde	Reële waarde
$\eta_{aardwarmtewisselaar}$	Reële waarde (indien van toepassing)
η_{WTW}	Reële waarde
IWW	2,1 W/m²
Beschaduwing	Berekende of default-waarde

06 Passiefhuis-checklist

Rekening houden tijdens het voorontwerp met:

- Keuze van het terrein
- Oriëntatie van het gebouw om optimaal gebruik te maken van passieve zonne-energie in de winter
- De woning zo compact mogelijk ontwerpen om warmteverliezen te beperken
- Een doordachte planopbouw rekening houdend met de vloer–, muur– en dakdiktes
- Efficiënt gebruik van het dak voor actieve zonnesystemen door een aangepaste dakhelling
- Nagaan of de variaties in de voorontwerpen overeenstemmen met de passiefhuisnormen door gebruik te maken van de PHPP-software

Rekening houden tijdens het gedetailleerde ontwerp met:

- Voldoende thermische isolatie plaatsen om de warmteverliezen te beperken
- Een luchtdichte schil ontwerpen om lekverliezen te beperken
- Schrijnwerk gebruiken dat geschikt is voor passiefhuizen
- Natuurlijke schaduw om de koelvraag in de zomer te verminderen
- Het plaatsen van de installaties in de luchtdichte zone van de woning zodat de luchtdichte schil niet overbodig doorboord worden
- Ruimte voorzien voor ventilatiekanalen
- Het ontwerp zo ruimtelijk opbouwen dat aan– en afvoerroosters en korte, directe ventilatiekanalen voorzien kunnen worden en het opnemen van een technische ruimte in het ontwerp

- Rekening houden met de plaatsing van keukenapparaten, verwarmingstoestellen, waterkokers enz. om gebruik te maken van interne warmtewinsten
- Nagaan of het eindontwerp overeenstemt met de passiefhuisnormen door gebruik te maken van de PHPP-software

07 Bijlagen

7.1 Voorbeelden van projecten gerealiseerd volgens het passiefhuisconcept

In België zijn al verschillende passieve huizen gerealiseerd. In totaal zijn 10 projecten gecertificeerd waaronder 8 woningen, 1 school en 1 kantoorgebouw. Op de cd-rom in bijlage staan de 10 gecertificeerde projecten in alfabetische volgorde. Op de website (www.passiefhuisplatform.be) bevindt zich een databank waarin alle gebouwen zijn opgenomen die ontworpen zijn volgens het passiefhuisconcept. Elk project bevat een duidelijke uiteenzetting van de structuur, constructie en de klimatisatie. Tevens is er elke keer een technische fiche opgemaakt die gegevens bevat over de wandopbouw en de technische installatie.

7.2 Subsidies en fiscale voordelen in verband met passiefhuizen

Er zijn tal van subsidies en fiscale voordelen van toepassing bij het realiseren van een passiefhuis. Deze bijlage geeft een overzicht welke voordelen er zijn anno 2007 op federaal, gewestelijk en gemeentelijk niveau. Tevens bevat het een tabel met premies van de netbeheerders.

7.3 Checklist voor de certificatieprocedure

Deze checklist geeft een overzicht welke documenten er nodig zijn voor het starten van een certificatieprocedure.

7.4 Criteria voor kwaliteitsverklaring

De criteria voor certificatie zijn afhankelijk van het gebouwtype (residentieel, kantoorgebouw of school). Deze bijlage bevat per gebouwtype een volledig overzicht welke criteria er van toepassing zijn voor het verkrijgen van een kwaliteitsverklaring.

08 Bronnen

Literatuur

BEEDEL (C.), PHILLIPS (R.), HODGSON (G.), MLECNIK (E.), 'Final Report WP3.4 PassivHaus Certification – met nationaal voorwoord België' (34 pages, PEP document PHP)

BOONSTRA (C.), JOOSTEN (L.), STROM (I.), MLECNIK (E.), VERVOORT (S.), DE BOER (B.), ELSWIJK (M.), KAAN (H.), 'Oplossingen voor passiefhuizen', research project report 2006 (54 pages, PEP-documents can be downloaded from www.europeanpassivehouses.org)

BOONSTRA (C.), CLOCQUET (R.) & JOOSTEN (L.). Passiefhuizen in Nederland. Aeneas, Boxtel, 2006, 109 p.

COBBAERT (B.), 'Certificatiesysteem voor passiefhuizen', Benelux Passive House Symposium 2005, October 21, 2005, Aalst, Belgium (proc. 33-52)

COBBAERT (B.), 'Airtightness in low energy buildings', AIVC conference 2005, Brussels, Belgium

COBBAERT (B.), 'PHPP: instrument voor de kwaliteitsbewaking van passiefhuizen', 2nd Benelux Passive House Symposium PHS 2004, October 22, 2004, Gent, Belgium. (proc. 73-88)

COBBAERT (B.), 'Living Today: ontwerp en realisatie van luchtdichtheid', 1st Benelux Passive House Symposium PHS 2003, October 24, 2003, Turnhout, Belgium. (proc. 106-120)

COBBAERT (B.), 'Op naar een passiefhuis', ecolife-magazine, herfst 2002

COBBAERT (B.), 'Luchtdicht bouwen', de koevoet, lente 2004

ELSWIJK (M.), Photovoltaïsche-Thermische collectoren op passiefhuizen, Proceedings PHH 2006: Naar een bredere marktontwikkeling, 2006, Antwerpen, 361 p.

FEIST (W.). Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001, 142 p.

FEIST (W.), BAFFIA (E.), SCHNIEDERS (J.), PFLUGER (R.), KAH (O.), MLECNIK (E.), WILLEMS (P.), COBBAERT (B.), VERVOORT (S.), VERHAEGHE (K.), DESCHOOLMEESTER (B.), 'PHPP 2003 – instrument voor de kwaliteitsbewaking van passiefhuizen', p.p. 100 + CD-ROM, PHP, Berchem, 2006

GUERRIAT (A.), La Maison Passive, PHP & La Cambre, 2nd edition 2005 (166 pages)

HANSSENS SPANTEN NV. Ontwikkeling van een innovatief bouwsysteem op basis van houten FJI-liggers. IWT-rapport, 2004, 150 p.

KAUFMANN (B.) & FEIST (W.). Passivhäuser erfogreich planen und bauen. ILS NRW, Aachen, 2004, 118 p.

LANG (G.) & LANG (M.). Das Passivhaus: Planungs-, Bau-, und kalkulationsgrundlagen. Lang consulting, 2002, 124 p.

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Fotovoltaïsche zonne-energie; Elektriciteit uit de zon, 2005

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Warmtepompen; De natuur als bron van verwarming, 2005

MLECNIK (E.), 'PassiveHouse 2007: ervaringen met betrekking tot vijf jaar promotie van pasiefhuizen in België', Proceedings Passiefhuis-symposium 2007, 7 September 2007, Brussels, Belgium (proc. 29-40)

MLECNIK (E.). Passiefhuis-Happening 2006; 'Naar een brede marktontwikkeling'. Passiefhuis-Platform vzw, Antwerpen, 2006, 361p.

MLECNIK (E.), 'Promotion of Passive Houses: from estimating the energy saving potential to the implementation of financial stimuli', 10th international Passive House Conference 2006, 19-20 May 2006 Hanover, Germany (proc. 125-130)

MLECNIK (E.), HENZ (O.), 'A la pointe des possibilités actuelles: la construction passive et la rénovation basse énergie', in the proceedings of 'Architecture & Energie en 2050', ceraa Brussels Belgium 19 November 2005

MLECNIK (E.), 'Passiefhuizen: energiebesparingspotentieel en klimaatkans voor de bouwsector', Benelux Passive House Symposium 2005, October 21, 2005, Aalst, Belgium (proc. 107-120)

MLECNIK (E.), 'Developing an indigenous market for passive solar houses', See the Light 2005, Galway, Ireland

MLECNIK (E.), 'Passive House Projects in Belgium', 9e internationale Passivhaustagung April 29-30, 2005, Ludwigshafen, Germany (proc. 447-452)

MLECNIK (E.), 'Kwaliteitsbewaking van passiefhuizen en energiezuinige woningen', 2nd Benelux Passive House Symposium PHS 2004, October 22, 2004, Gent, Belgium. (proc. 133-147)

MLECNIK (E.), 'Stand van zaken passiefhuizen', 2nd Benelux Passive House Symposium PHS 2004, October 22, 2004, Gent, Belgium. (proc. 2-14)

MLECNIK (E.), COBBAERT (B.), PHPP Benelux – instrument voor het ontwerp van passiefhuizen, TVVL, oktober 2004

MLECNIK (E.), 'Demand and supply solutions for more passive buildings: implementation of PHP', 21th conference on Passive and Low energy Architecture PLEA 2004, September 19-22, 2004, Eindhoven, Nederland

MLECNIK (E.), 'The Success of the Passive House in Belgium', 8e Europäische Passivhaustagung EPHT 2004, April16-18, 2004, Krems a.d. Donau, Oostenrijk (proc. 585-589)

MLECNIK (E.), 'Passive House Platform: 1 year later', 1st Benelux Passive House Symposium PHS 2003, October 24, 2003, Turnhout, Belgium. (proc. 161-179)

MLECNIK (E.), 'PHP: towards radical energy reduction in Flemish buildings', 7e Internationale Passivhaustagung, February 21-22, 2003 Hamburg, Duitsland (proc. 271-274)

MLECNIK (E.), 'Passiefhuizen, wat is hun financiële balans', in 'Eco-logica: De voordelen van milieugericht werken (How green buildings pay)', Les Cahiers de La Cambre Architecture n°4, 93-104.

MLECNIK (E.), 'Les maisons passives: quel bilan financier?', in 'Eco-logiques: Les bénéfices de l'approche environmentale (How green buildings pay)', Les Cahiers de La Cambre Architecture n°4, 91-102.

NIEMINEN (J.). Brochure: Architect's guide to passive houses. PEP-project, 2006, 18 p.

NOVEM. De zon in stedenbouw en architectuur. Novem, Utrecht, 2000, 54 p.

'PassiveHouse 2007: More comfort less energy': Proceedings of the Passive House symposium 2007, Brussels, Belgium (342 pages), ISBN 908111822-6

Proceedings of the Passive House Happening 2006, Heusden-Zolder, Belgium (361 pages), ISBN 908111821-8

Proceedings of the Benelux Passive House Symposium 2005, Aalst, Belgium (403 pages)

Proceedings of PHS 2004 2nd Benelux Passive House Symposium, Gent, Belgium (297 pages)

Proceedings of PHS 2003 1st Benelux Passive House Symposium, Turnhout, Belgium (177 pages)

STACK (A.), GOULDING (J.) & OWEN LEWIS (J.). Shading systems: solar shading for the European climates. Energie, Dublin, 2000, 21 p.

VAN LOON (S.), MLECNIK (E.), 'EPB-berekeningen van passiefhuizen', Proceedings Passiefhuis-symposium 2007, 7 September 2007, Brussels, Belgium (proc. 53-72).

ZELLER (J.), DORSCHKY (S.), BORSCH-LAAKS (R.) & FEIST (W.). Luftdichtigkeit von Gebäuden – Luftdichtingskeitsmessungen mit der Blower Door in Niedrigenergiehäusern und anderen Gebäuden. Institut für wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1995.

La Maison Passive, publication nationale 2007 (23 pages, PEP document, PHP)

The Passive House, national publication 2006 (23 pages, PEP document, PHP)

Het Passiefhuis, national publication 2006 (23 pages, PEP document, PHP)

Andere

www.passiefhuisplatform.be (projecten– en technologiedatabank), PHP vzw, Passiefhuis-Platform vzw, Berchem

www.energievreters.be

www.europeanpassivehouses.org

Van onze jaarlijkse energieconsumptie wordt 40% verbruikt in gebouwen. Nochtans kan het energieverbruik van gebouwen drastisch verminderd worden met passieve technieken. Het passiefhuisconcept heeft zich, ook in België, al verschillende keren bewezen in gerealiseerde projecten als kosten– en energie-efficiënte oplossing voor deze problematiek. Een passiefhuis is een woning die ontworpen is om energie optimaal te behouden, zodat deze tot 85% minder energie verbruikt dan het Vlaamse woningbestand. Het succes van het passiefhuis in Europa toont ook dat dit concept rijp is om uit te groeien tot de toekomstige woningbouwstandaard.

Deze gids geeft ontwerpaanbevelingen om zowel zomer en winter, dag en nacht een comfortabel binnenklimaat te realiseren in passiefhuizen. Ontwerpinformatie wordt verschaft voor het realiseren van passiefhuizen, met betrekking tot de terreinkeuze, het programma van eisen, het voorontwerp, de voorcalculatie, het ontwerp, tot en met de eventuele certificatie. Bovendien bevat de gids een digitale drager met een overzicht van mogelijke subsidies en gedetailleerde informatie van tien Belgische projecten met een kwaliteitsverklaring.

PASSIEFHUISGIDS

Een uitgave van:

Passiefhuis-Platform vzw
Gitschotellei 138
2600 Berchem
www.passiefhuisplatform.be

ISBN 908111823-4

IEE-project wordt gecofinancierd door:

De enige verantwoordelijkheid voor de inhoud van deze publicatie ligt bij de auteurs. Ze vertegenwoordigt geenszins de mening van de Europese Gemeenschap. De Europese Commissie is niet verantwoordelijk voor gebruik van de informatie gegeven in deze publicatie.